Quantitative Untersuchungen zur Formentwicklung des Humeruskopfes beim Embryo des Menschen

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
des Fachbereichs Humanmedizin
der
Johann Wolfgang Goethe-Universität
Frankfurt am Main

vorgelegt von
Joachim Mayer

Frankfurt am Main 1984

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41523703_0042

Aus dem

Zentrum der Morphologie

(Dr. Senckenbergische Anatomie)

der

Johann Wolfgang Goethe-Universität

Frankfurt am Main

(Geschäftsf. Direktor : Prof. Dr. med. J. Winckler)

QUANTITATIVE UNTERSUCHUNGEN ZUR FORMENTWICKLUNG DES HUMERUSKOPFES BEIM EMBRYO DES MENSCHEN

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung des Doktorgrades

der Medizin

des Fachbereichs Humanmedizin

der

Johann Wolfgang Goethe-Universität

Frankfurt am Main

vorgelegt

von

JOACHIM MAYER

aus

Bingen am Rhein

Frankfurt am Main 1984

Dekan: Prof. Dr. H.J. Müller

Referent: Prof. Dr. M. Klima

Korreferent: Prof. Dr. E. Schmitt

Tag der mündlichen Prüfung: 18. 12. 84

ABSTRACT

Mayer, Joachim :

QUANTITATIVE UNTERSUCHUNGEN ZUR FORMENTWICKLUNG DES HUMERUSKOPFES BEIM EMBRYO DES MENSCHEN

Es wurden die Wachstumsvorgänge am Humeruskopf des Menschen in der Embryonal - und Foetalperiode untersucht. Zu diesem Zweck wurde eine photographische Meßmethode entwickelt, die die Vermessung der kleinen und weichen Humeri ermöglicht, ohne sie zu deformieren.
Es standen **19 menschliche Embryonen und Foeten** zur Verfügung, ihre Scheitel - Steiß - Länge betrug zwischen 40 und 262 mm. Ihr Alter betrug 65 - 202 Tage. Zur Erprobung der Methode und zum Vergleich mit den embryonalen Humeri wurden außerdem 10 Humeri von erwachsenen Menschen vermessen. Jeder Humerus wurde zehnmal völlig neu vermessen.
Dabei zeigte sich, daß Strecken, die größer als 1 mm sind, gut bestimmt werden können, Winkel sind schlecht meßbar.
Es wurden folgende Aussagen gemacht:
1. Die Gesamthöhe des Humeruskopfes, die Breite des Tuberculum majus und der Radius der Gelenkhalbkugel wachsen proportional zur Humeruslänge, sie verändern sich also nicht.
2. Die Höhe des Tuberculum majus nimmt langsamer zu als die Humeruslänge und die unter Nr.1 genannten Strukturen, es wird also relativ niedriger.
(Verschiedene Ursachen wurden diskutiert, es war aber nicht möglich, eine einzelne Ursache zu ermitteln.)
3. Die Proportionen des embryonalen Humerus ähneln schon weitgehend denen des Humerus des Erwachsenen. Der Schaft des Humerus ist im Verhältnis zur Lage noch breiter, und das Tuberculum majus ist noch höher als dies beim Humerus des Erwachsenen der Fall ist.
Bei den größten hier vermessenen embryonalen Humeri nähern sich diese Verhältnisse aber auch schon an die des Erwachsenen - Humerus an.
4. Die Gelenkkugel und die Tubercula verändern ihre Form nicht, und auch ihre Lage zueinander verändert sich nicht so wesentlich, daß dies meßbar wäre.

INHALTSVERZEICHNISS

Titel	Seite
1.EINLEITUNG	1
2. LITERATURÜBERSICHT	3
3. MATERIAL	17
3.1. EMBRYONEN UND ERWACHSENEN-HUMERI	17
3.2. PRÄPARATION DER EMBRYONALEN HUMERI	19
3.3. TECHNISCHE HILFSMITTEL	21
4. MESSMETHODE	22
4.1. VERMESSUNG DER ERWACHSENEN-HUMERI	28
4.2. FEHLERQUELLEN (Erwachsenen-Humeri)	35
4.3. EMBRYONALE UND FOETALE HUMERI	36
4.4. FEHLERQUELLEN (Embryonale-Humeri)	39
4.5. BESTIMMUNG DER MESSSTRECKEN UND WINKEL	41
5. ERGEBNISSE ERWACHSENEN-HUMERI	46
5.1. ALLGEMEINES ZUR MESSMETHODE	46
5.2. MESSWERTE	48-59
5.3. ERGEBNISSE	60
5.4. DISKUSSION DER METHODE	62

INHALTSVERZEICHNISS FORTSETZUNG

Titel	Seite
6. ERGEBNISSE EMBRYONALE HUMERI	64
6.1. ALLGEMEINES ZUR MESSMETHODE	64
6.2. MESSWERTE	68 - 88
6.3. MESSBARKEIT DER EINZELNEN STRECKEN	89
6.4. ERGEBNISSE	92 - 96
7. GESAMTDISKUSSION	108 - 114
8. ZUSAMMENFASSUNG	119
9. LITERATURVERZEICHNISS	121
10. VERZEICHNISS DER VERWENDETEN ABKÜRZUNGEN	125

VERZEICHNISS DER ABBILDUNGEN

Abb. Nr.	Bezeichnung	Seite
Abb. 1	Embryo XXII Bardeen/Lewis	4
Abb. 2	Embryo Lewis CLXIII	4
Abb. 3	Embryo Lewis CIX	7
Abb. 4	Embryo Lewis	7
Abb. 5	Arme Olivier SSL 9-17 mm	13
Abb. 6	Humeri Olivier SSL 13,5-27 mm	14
Tab. 1	Verwendete Embryonen und Foeten	18
Abb. 7	Embryonaler Humerus in situ	20
Abb. 8	Humeruskopf von vorne mit überlagertem Kreis	25
Tab. 2	Abweichungen der Gelenkkugeln vom Kreis	27
Abb. 9	Humeruskopf seitlich , Markierung des Pols	29
Abb. 10	Humeruskopf von vorne , Mittelpunkt	30
Abb. 11	Humeruskopf von vorne , Hilfspunkt	31
Abb. 12	Humeruskopf von vorne , Mittelachse	31
Abb. 13	Erwachsenen-Humerus auf Brett	32
Abb. 14	Bezeichnung der Meßstrecken	33
Abb. 15	Bezeichnung der Winkel	34
Abb. 16	Vorderansicht embryonaler Humerus	38
Tab. 3	Werte der Erwachsenen-Humeri	50-59
Abb. 17	Kurve , H und hT gegen L (Erwachsen-Humeri)	63

VERZEICHNISS DER ABBILDUNGEN FORTSETZUNG

Abb. Nr.	Bezeichnung	Seite
Abb. 18	Abweichung der Einstichpunkte	65
Tab. 4	Werte embryonale Humeri	70-88
Abb. 19	Kurve , H und hT gegen L (Embryonale Humeri)	98
Abb. 20	Kurve , r, MT und Mt gegen L aufgetragen	99
Abb. 21	Kurve , hT1 und hT2 gegen L aufgetragen	100
Abb. 22	Kurve , BT, Bt und ht gegen L aufgetragen	101
Abb. 23	Großer und kleiner Humeruskopf übereinander	102
Abb. 24	Kurve , Vergleich erwachsene und embryonale Humeri , doppelt log.	103
Tab. 5	Verhältnisstabelle	104-107
Tab. 6	Verhältnisstabelle , Schaftbreite	115
Tab. 7	Verhältnisstabelle Erwachsenen-Humeri	117
Tab. 8	Werte völlig präparierter Humeri	118

1. EINLEITUNG

Aufgabe der vorliegenden Arbeit war es, die Wachstumsvorgänge am Humeruskopf von menschlichen Embryonen zu untersuchen. Diese sind von zahlreichen Autoren bereits in qualitativer Form beschrieben worden.

Diese beschreibenden Untersuchungen sollten mit dieser Arbeit um quantitative Untersuchungen ergänzt werden.

Die von früheren Autoren bei etwas kleineren Embryonen erhobenen Befunde wurden in der Literaturübersicht relativ ausführlich dargestellt und mit Zeichnungen versehen, damit die in dieser Arbeit erhobenen Befunde besser einzuordnen sind.

Insbesondere ging es in dieser Arbeit darum, Veränderungen der Größe, Form und Lage der Tubercula des Humeruskopfes während möglichst früher Wachstumsphasen festzustellen. Dies erschien interessant, da die Form des Humeruskopfes bei den verschiedenen Arten teilweise erheblich differiert.

Deshalb stellte sich die Frage, ob es beim menschlichen Humerus Entwicklungsstadien gibt, in denen die Tubercula entweder noch nicht angelegt sind, oder ihre Form und ihre Lage verändern.

Durch die Vermessung sollten die Ergebnisse objektiviert werden und außerdem sollte eine erste Grundlage für den quantitativen Vergleich zu Humeri anderer Arten geschaffen werden.
Da es noch ungeklärt war, ob und wie genau kleine Humeri vermeßbar sind, wurde erhebliches Gewicht darauf gelegt, eine Meßmethode zu entwickeln, die statistisch zuverlässige Ergebnisse liefert.

Die für zuverlässig erachteten Meßgrößen wurden dann zu Aussagen über die Formentwicklung des Humeruskopfes verwendet.

2. LITERATURÜBERSICHT

Aus der Fülle der Literatur zur allgemeinen Skelettentwicklung wurde hier nur die für die Armentwicklung wichtige erwähnt, sowie einige grundlegende Arbeiten zur Knochenentwicklung.
Schon um die Jahrhundertwende wurden grundlegende Untersuchungen über die Entwicklung der Extremitäten veröffentlicht.

So beobachteten **HENKE** und **REYHER** (1874), daß der Humerus bei Embryonen von 18 - 20 mm Scheitel-Steiß-Länge (Alter: 5 - 6 Wochen) noch aus einem kugelförmigen Kopf, einem runden Schaft und einem walzenförmigen Körper am unteren Ende besteht.
HAGEN (1900) beschreibt das Knorpelskelettmodell eines 17 mm großen Embryos. Er findet das Tuberculum majus schon gut ausgebildet.
Einen Sulcus intertubercularis bemerkt er noch nicht.
BARDEEN und **LEWIS** (1901) untersuchten Embryonen der Größe 2,1 mm - 20 mm (ungefähres Alter: 2 - 7 Wochen) in Bezug auf die Entwicklung der Körperwand, der Extremitäten und des Rückens. Sie finden die Armknospe auf Höhe von C5 - Th1.
Auf einer Abbildung eines 20 mm großen Embryos (ca:7 Wochen) ist der Musculus biceps mit beiden Ansätzen gut sichtbar. (Abb.1)

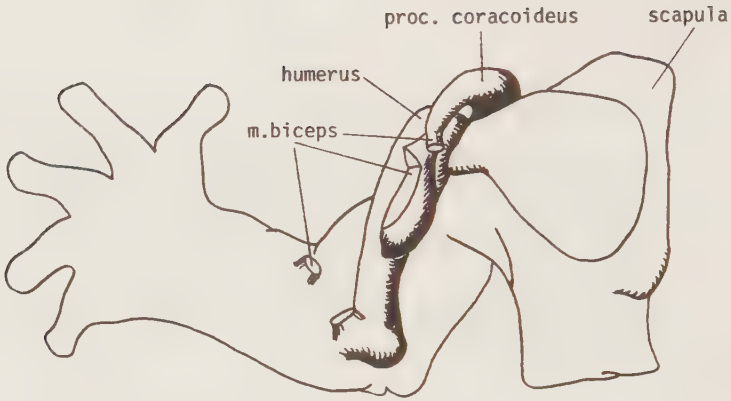


Abb. 1 Modell eines Armes von einem Embryo von 18-20mm Größe.
(Zeichnung nach LEWIS , erheblich vereinfacht ,
nur die hier relevanten Strukturen belassen.)

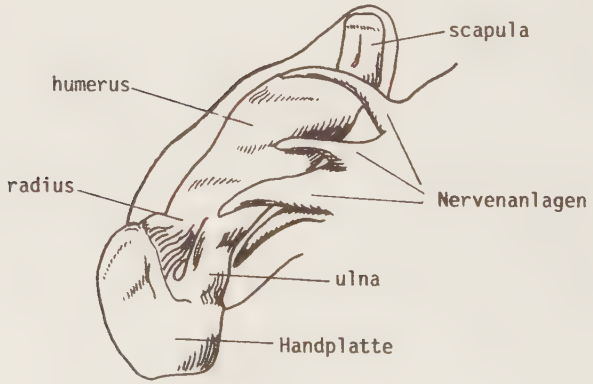


Abb. 2 Modell eines Armes von einem 9 mm (SSL) großen Embryo.
(Zeichnung nach LEWIS , gering modifiziert.)

LEWIS (1902) veröffentlichte eine grundlegende Arbeit über die Entwicklung des Armes beim Menschen.
Ich führe im Folgenden die auf den Humerus bezogenen Befunde an:
Die ersten Anzeichen für eine Differenzierung der Armknospe finden sich bei einem vier Wochen alten Embryo.

Im nächsten Stadium, bei einem 4 1/2 Wochen alten Embryo (9 mm SSL) haben sich schon stärkere Veränderungen bemerkbar gemacht. Nun sind die Skelettanlagen zu erkennen, an ihren Rändern gehen sie aber unscharf in das umgebende Mesenchym über, daß sich wahrscheinlich später zu Muskelgewebe ausdifferenziert. Die Skelettanlage besteht aus kondensiertem oder geschichtetem Mesenchym, Knorpel existiert nicht. Die Anlage des Schulterblattes ist mit der Humerusanlage verbunden. Am Schulterblatt sind die Vorsprünge Coracoid, Acromion und Spina scapulae noch nicht erkennbar.
Die Humerusanlage ist eine zylindrische Masse, welche die Mitte des körpernahen Teils der Armanlage bildet.
Sie ist umgeben von praemuskulärem Gewebe.
Die Humerusanlage liegt praktisch ganz auf einer Höhe mit der ersten Rippe, ungefähr in dieser Höhe geht sie auch kontinuierlich in die Anlage von Radius und Ulna über. (Abb.2)
Bei einem Embryo der Größe 10,5 - 11 mm (Alter ca. 5 Wochen) haben weitere Veränderungen stattgefunden.

Es treten erste Knorpelzellen im Armskelett auf.
Die Scapula liegt in Höhe von ca. C3 - Th2, die Vorsprünge Acromion und Coracoid sind ausgebildet.
Der Humerus ist direkt mit der Scapula und der Wurzel des Processus coracoideus verbunden. (Abb.3)
Es gibt noch keine Anzeichen für Gelenkflächen oder Gelenkhöhlen.
Beide Enden des Humerus haben sich vergrößert, das distale Ende zeigt schon beide Epicondylen. Seine Schaftmitte besteht aus hyalinem Knorpel, der von dickerem Perichondrium umgeben ist.
Der lange Kopf des Musculus biceps setzt an der Verbindung des Processus coracoideus mit dem Scapulakopf an und die Sehne zieht durch den Sulcus intertubercularis. (Abb.1)
Die Muskelanlagen haben sich schärfer ausgebildet, der Musculus biceps und der Musculus coracobrachialis liegen an der Innenseite der Humerusanlage.
Sie ziehen vom Processus coracoideus bis zum Radius.
Die beiden Köpfe des Musculus biceps sind bis nahe an ihre Ansatzpunkte, die etwas auseinanderliegen, miteinander verbunden. Der Teil des Processus coracoideus, an dem der lange Kopf des Musculus biceps ansetzt, muß wohl später ein Teil des Scapulakopfes werden.
Bei einer Embryogröße von 16 mm SSL (6 Wochen) ist der Humerus größer, länger und schlanker geworden, die Enden haben sich vergrößert. (Abb.4)

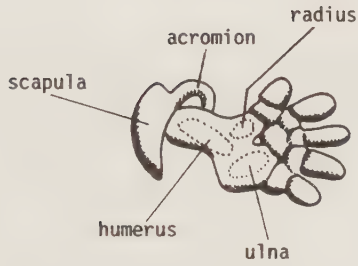


Abb. 3 Modell des Armes von einem 10,5-11mm (SSL) großen Embryo . (Zeichnung nach LEWIS , gering modifiziert.)

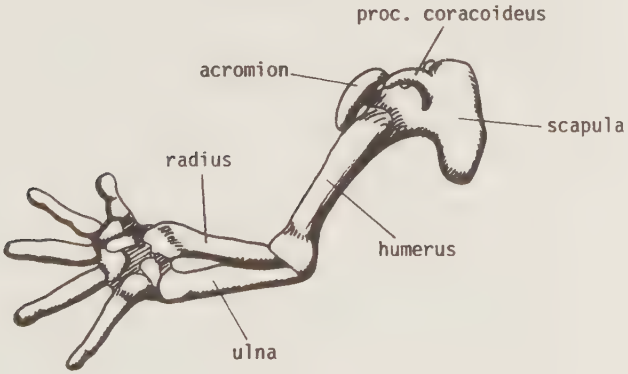


Abb. 4 Modell des Armes von einem 16 mm (SSL) großen Embryo. (Zeichnung nach LEWIS , gering modifiziert.)

Er besteht schon hauptsächlich aus Knorpel, welcher von einem dicken Perichondrium umgeben ist. Dieses Perichondrium hängt mit demjenigen der Scapula zusammen. Ein perichondrales Band liegt zwischen Humerus und Scapula. Anzeichen für eine Gelenkhöhle bestehen nicht.
Am proximalen Ende des Humerus zeigt das Perichondrium bereits Verdickungen für die Tuberkel. Der Musculus biceps ist länger geworden, seine Köpfe weichen stärker auseinander. Der lange Kopf setzt immer noch an der Basis des Processus coracoideus an.
Der kurze Kopf setzt, zusammen mit dem Musculus coracobrachialis, an der Spitze des Processus coracoideus an. Beide Köpfe vereinigen sich ungefähr in der Mitte des Humerus miteinander.
Ab 20 mm Embryogröße (7 Wochen) kann jede Muskelanlage erkannt werden, alle Muskeln enthalten Muskelfasern. Die Sehnen sind besser geformt und ihr endgültiger Ansatzpunkt ist besser bestimmbar.
Ebenso bilden sich die Fascien und Bänder stärker aus.
Die Humerusanlage ist viel größer als im Vorstadium. Sie hat schon ungefähr die Erwachsenenform, ist aber noch breiter im Verhältnis zur Länge. Sie besteht aus Knorpel.
Eine Gelenkhöhle existiert noch nicht. Die Tuberkel und Epicondylen sind gut aus Knorpel und verdichtetem Gewebe geformt. Der Sulcus intertubercularis ist vorhanden.

BARDEEN (1905) zeigte auf, daß die Entwicklung des Extremitätenskeletts des Menschen drei Stadien durchläuft:

1. Blastematöses Stadium
2. Knorpeliges Stadium
3. Knochiges Stadium

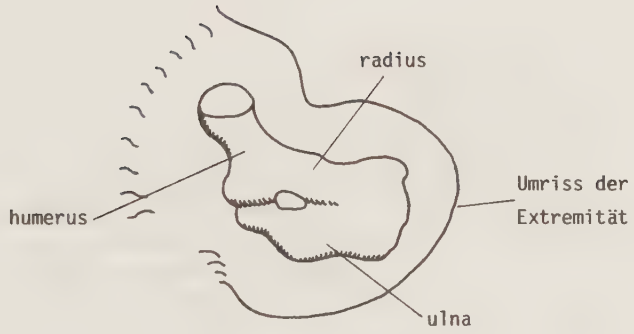
Im knorpeligen Stadium sind die bestimmenden Formen erreicht, die auch die Erwachsenenstruktur charakterisieren. Die Stellen der Verknorpelung entsprechen ungefähr denen der Verknöcherung, die Entwicklung von Knorpel zu Knochen erfolgt relativ direkt.
Strukturen, die aus der phylogenetischen Entwicklung bekannt sind, wurden während der Ontogenese nicht beobachtet.
HESSER (1920) stellte Wachsmodelle nach histologischen Schnitten von Embryonen der Größe 18 - 65 mm her und behandelte die Frage, ob die Gelenkflächen sich gleich angeborenerweise in der endgültigen Form ausbilden, oder ob dies erst durch mechanische Bewegung geschieht.
Er erwähnte, daß das Knorpelwachstum durch Druckkräfte gehemmt und durch Entlastung gefördert wird.
Dabei fand er, daß die Gelenkflächen sich schon vor dem Gelenkspalt bilden. Dieser bildet sich durch die Einschmelzung des zwischen den Gelenkflächen liegenden Blastemgewebes aus.
Er stellte die Theorie auf, daß die Bildung und Modellierung der Gelenkflächen bis zu großer Ähnlichkeit mit der Erwachsenenform ohne Bewegungen im Gelenk erfolgt, daß aber die endgültige Form und das normale Wachstum durch die regelmäßige Bewegung bewirkt wird.

SIMON (1923) untersuchte die Entwicklung des Schultergelenkes. Er bemerkte, in Übereinstimmung mit HENKE und REYHER, daß sich zwischen den vorknorpeligen Gelenkkörpern zwei Grenzschichten und eine zentrale Zellmasse ausbilden.
Aus den Grenzschichten bilden sich die Kapselbänder.
In der Mittelschicht bildet sich der Gelenkspalt aus.
Die Gelenkhöhle bildet sich ab 30 mm SSL. Hier bildet sich auch ein Spaltraum um die Bicepssehne aus. Die Sehne selber wird ab 18 mm SSL sichtbar und liegt schon an ihrer späteren Stelle.
DOLGO - SABUROFF (1935) untersuchte die Einflüsse der Muskulatur auf die Morphogenese des Skeletts.
Er weist darauf hin, daß man beim Studium eines Knochens alle möglichen, funktionell - strukturellen Beziehungen zu den ihn umgebenden Organen im Auge behalten muß.
So ist zum Beispiel die Anheftungsstelle einer Sehne am Knochen durch eine große Mannigfaltigkeit des Knochens in diesem Bereich charakterisiert.
Je schärfer dabei außen am Knochen die Anheftungsstelle der Sehnen als Grate oder Höcker ausgebildet waren, desto häufiger fanden sich Eigentümlichkeiten in der Struktur der Knochen an dieser Stelle.
So fand sich teilweise eine aufgelockerte Struktur (Spongiosität) der kortikalen Schicht. Die Haversschen Kanäle sind manchmal erweitert und in breite Resorptionshöhlen verwandelt.
Diese Veränderungen erstrecken sich teilweise auch auf die ganze Dicke des Knochens an dieser Stelle.

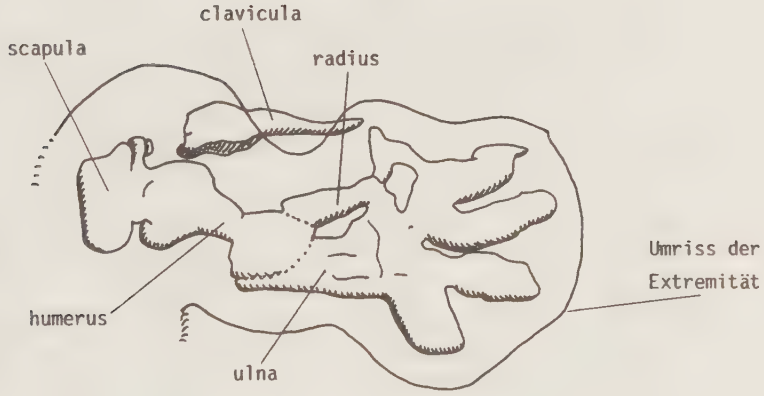
STREETER (1949) veröffentlichte eine Arbeit über die Entwicklung von Knorpel und Knochen am Beispiel des Humerus.
Er beschreibt, daß die Armknospe zuerst bei Embryonen mit 21 - 29 Somiten sichtbar wird.
Die Erhebung besteht aus Mesoblastzellen. Sie wird durch Spinalwurzelnerven induziert, die gerade aus der Chorda dorsalis aussprossen.
Er unterteilt die Knorpelentwicklung in 5 Phasen, wobei die Zellen von Phase I bis Phase IV zunehmend vakuolisiert werden und die Interzellularsubstanz zwischen ihnen zunimmt. In Phase V sterben die Zellen und hinterlassen leere Nischen.

Der knorpelige Humerus besteht aus verschieden weit gereiften Knorpelzellen, deren Verteilung eine recht genaue Altersbestimmung ermöglicht.
Die "ältesten" Zellen liegen in der Mitte, die "jüngsten" am Metaphysenrand. Für die Formgestaltung sind seiner Meinung nach folgende Faktoren wichtig:
1. Aktivität des Skelettblastems
2. Proliferation der Zellen
3. Wachstum der Zellen
4. Wachstum der Interzellularsubstanz
Die Zellen können nicht wandern, neue Zellen werden vom Perichondrium nachgeliefert.
HOCHSTETTER (1952) beschrieb anhand von Modellen und Photographien die äußere Formentwicklung der Gliedmaßen bei Embryonen der Größe 3,2 - 30 mm SSL.

GARDNER und GRAY (1953) untersuchten die Entwicklung der Schulter und des Acromioclaviculargelenkes. Sie stellten folgendes fest:
Der Humeruskopf ist bei 20 mm SSL rund und vom Schaft durch einen Hals getrennt. Die Tuberkel sind vorhanden. Ab 20 mm inserieren die Sehnen im Perichondrium der Tuberkel.
Bei 20 mm SSL ähnelt die Form des Humerus der Erwachsenenform.
Da die Sehnen, Gelenkflächen und Bänder schon bei einer Größe von 20 - 25 mm SSL ausgebildet sind, liegt die Vermutung nahe, daß sie sich sehr schnell innerhalb weniger Tage bilden.
OLIVIER (1962) untersuchte ebenfalls die Skelettbildung beim Menschen und stellte ungefähr die gleichen Befunde fest, wie LEWIS.
Er konstatiert, daß der Humerus zuerst noch innerhalb des Körpers liegt, die Armknospe enthält nur die Unterarmknochenanlagen.
Der Humerus liegt zuerst in Höhe C6 - Th1 (35 Tage), später wandert er nach unten. (C7 - Th4, 46 Tage; Th1 - Th8 55Tage)
Dabei dreht er sich aus einer mehr horizontalen in eine mehr vertikale Lage, wie bei einer Streckung des Arms.
Da aber noch kein Gelenk zwischen Scapula und Humerus vorhanden ist, muß es sich um Wachstumsvorgänge handeln. (Abb.5)



9 mm SSL



12,5 mm SSL

Abb. 5 Arme von 9mm und 12,5 mm (SSL) großen Embryonen.
(Zeichnung nach OLIVIER , gering modifiziert.)

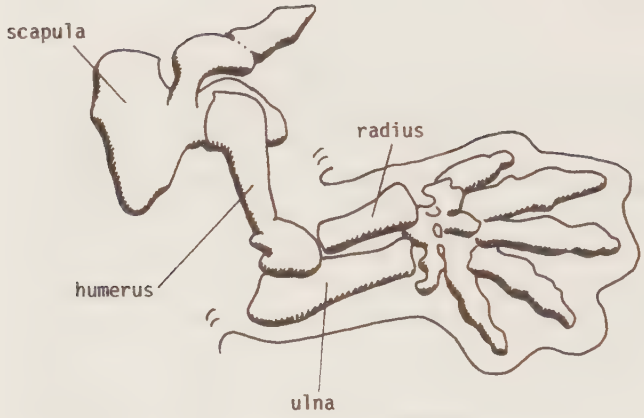


Abb. 5 Modell des Armes eines 17mm großen Embryos
(Zeichnung nach OLIVIER , gering modifiziert)

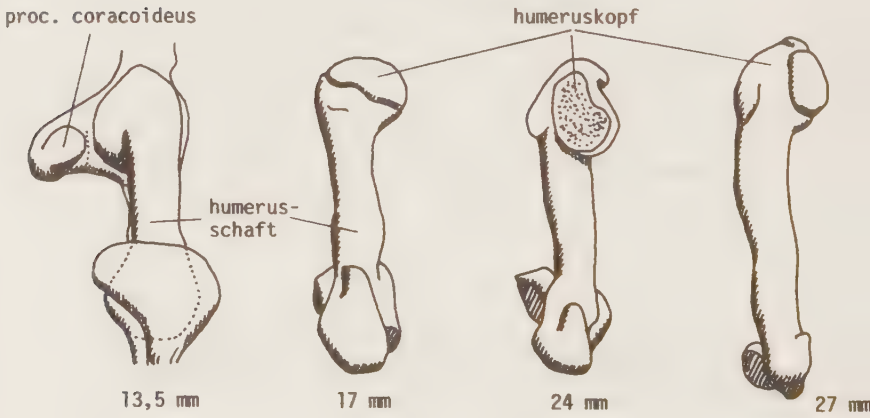


Abb. 6 Modelle verschieden großer Humeri von Embryonen
mit einer SSl von 13,5 - 27 mm .
(Zeichnung nach OLIVIER , gering modifiziert)

Er veröffentlichte dazu mehrere Umrißzeichnungen von embryonalen Humerusmodellen, die Embryonen hatten eine SSL von 13,7 - 27 mm (42 - 55 Tage) (Abb.6)
Weiter bemerkte er, daß der Humeruskopf bei Scheitel - Steiß - Längen von 27 - 34 mm (54 - 61 Tage) zunehmend seine normale Form annimmt.
Seine Konvexität (die Gelenkkugel)* vergrößert sich schnell. Da die Vorsprünge im Vergleich zum Erwachsenen recht groß sind, nimmt er an, daß das Längenwachstum später als das Breitenwachstum erfolgt.
Ab 17 mm SSL ist die Humerusanlage knorpelig, ab 85 mm SSL ist sie bis zum Ansatz der Gelenkkapsel verknöchert.
Die Epicondylen verändern sich noch relativ stark, der radiale Epicondylus wandert erst noch nach unten.
Daher glaubt OLIVIER, daß eher hier noch eventuelle Drehungen erfolgen könnten, als in dem Schaft der Humerus, oder in der proximalen Epiphyse, wie es andere Autoren annehmen.
ENLOW (1963) beschreibt den Modellierungsprozeß des Knochens. Er weist nach, daß Knochen anders wächst, als andere Gewebe, da er sich nicht einfach durch Zellvergrößerung und Zellteilung vergrößern kann. Stattdessen findet ein Wechselspiel zwischen An- und Abbau statt, welches die Proportionen langsam verschiebt, da die An- und Abbauvorgänge an verschiedenen Stellen unterschiedlich stark ausgeprägt sind.
GARDNER und GRAY (1969) haben neben der Schulterentwicklung (1953) noch die vorgeburtliche Armentwicklung untersucht. Sie stellten unter anderem fest, daß der Humerus schon ab 30 mm SSL ungefähr die Erwachsenenform hat. Der Schaft ist aber noch rund, erst ab 103 mm SSL wird er dreieckig, wie beim Erwachsenen.

*(Anmerkung von mir)

In der Fetalperiode wird die Form schärfer.
Sie beschreiben den Prozeß der Verknöcherung in Anlehnung an **ENLOWS** "Bone Remodelling". Die charakteristischen Formen sind zuerst Periostverdickungen, die später in Knochen umgewandelt werden.
Der Prozeß der Modellierung beginnt ab dem Ende der 12. Woche, wenn die Ossifikation langsamer fortschreitet und sich Wachstumszonen ausbilden.
BLECHSCHMIDT (1951,1962,1967) hat Modelle der Embryonen der Größe 2,3 mm (13 Tage) bis 30 mm (8Wochen) mit modernen Methoden hergestellt.
Er stellte die Theorie auf, daß die Formbildung und Differenzierung des Embryos durch verschieden starkes Wachstum von Geweben entsteht. In früheren Stadien spielt dabei, nach dieser Theorie, das Ektoderm eine große Rolle. Wächst dieses zum Beispiel bei der Ausbildung einer Extremität auf der Außenseite schneller als auf der Innenseite, so entsteht eine Abknickung, die in dem Mesenchym der Extremität verschiedene "Kräftefelder" (Druck-, Zugfelder) erzeugt. Unter dem Einfluß dieser Kräfte, sowie hierdurch erzeugter Ungleichgewichte in der Nährstoffzufuhr, differenziert sich das Mesenchym zu verschiedenen Geweben. So entsteht zum Beispiel unter dem Einfluß von Druck Knorpel, unter dem Einfluß geringen Zugs Muskulatur, bei starkem Zug Sehnengewebe. Durch komplizierte Wechselwirkungen dieser Kräfte entstehe dann die spätere Form des Embryos. Diese Kräfte beschreibt er am Beispiel verschiedener Strukturen, zum Beispiel am Kopf, der Wirbelsäule und der Extremitäten.

3. MATERIAL

3.1. EMBRYONEN UND ERWACHSENEN - HUMERI

Die für diese Arbeit benötigten Embryonen und Foeten, sowie die bereits präparierten Erwachsenen - Humeri wurden mir dankenswerterweise von Herrn **Prof. Dr. M.KLIMA** zur Verfügung gestellt.
Sie entstammen der Sammlung des Senckenbergischen Morphologischen Instituts an der Universität Frankfurt am Main.
Die Embryonen waren in Formalin (10%ig) konserviert, ihre abpräparierten Humeri wurden in Alkohol (70%ig) aufbewahrt.
Die Erwachsenen - Humeri waren bereits mazeriert.
Es wurden für diese Arbeit die Humeri von achtzehn Embryonen und Foeten vermessen. Die Scheitel - Steiß - Länge der Embryonen und Foeten betrug 40 mm bis 262 mm. Das ungefähre Alter betrug 65 bis 202 Tage. (Das Alter wurde von der Scheitel - Steiß - Länge ausgehend bestimmt, verwendet wurden die Altersbestimmungstafeln von **G.OLIVIER** und **H.PINEAU** (1958).)Eine Übersicht über die Embryonen und Foeten gibt **Tabelle 1.**
Außerdem wurden zehn Erwachsenen - Humeri vermessen, um einerseits eine neue Meßmethode zu erproben, und und andererseits Vergleichswerte zu den embryonalen Humeri zu haben.

TABELLE Nr.1 VERWENDETE EMBRYONEN UND FOETEN

Embryo Nr.	SSl (mm)	Alter (Tage)	Humeruslänge (mm)
23	40	65	8,6
21	46	68 - 69	9,8
22	49	70	9,5
17	60	76	15,1
19	65	78 - 79	13,7
11	75	82 - 83	18,7
13	94	90 - 91	21,8
1	110	110	33,5
2	113	114	30,2
10	121	114 - 121	33,2
3	128	121	33,4
7	140	128	35,6
9	176	146	44
6	198	155	48,7
28	200	155 - 162	52
33	212	162	64,2
31	227	168 - 175	54,3
32	237	175 - 182	62,4
34	262	202	63,4

3.2. PRÄPARATION DER EMBRYONALEN HUMERI

Die embryonalen und foetalen Humeri wurden unter dem Binocular - Vergrößerer heraus präpariert. Die topographischen Verhältnisse entsprachen denen des erwachsenen Armes, **Abb.7** zeigt einen geöffneten foetalen Arm. (Obj.Nr.31;SSL 227)
Dabei wurden die Gelenkkapsel und die Sehnen an ihrem Ansatz am Humerus so abgetrennt, daß die Gelenkkugel vollständig sichtbar war. Die verbliebenen Gelenkkapselteile, sowie die Sehnen, die das Tuberculum majus und minus bedeckten, verblieben auf dem Knorpel, da es schwierig ist, sie bis auf das Perichondrium abzutragen, ohne den Knorpel zu beschädigen und damit die Form des Kopfes eventuell so stark zu verändern, daß kaum ein Rückschluß auf die ursprüngliche Form möglich wäre.
Außerdem erwies sich diese aufgelagerte Schicht als sehr dünn. (ca.0,1 - 0,2 mm stark)
Zur Kontrolle wurden das Perichondrium und die Muskelansätze dann später, nach der Vermessung der Humeri, soweit wie möglich abgetragen und die Humeri nochmals ein- bis zweimal vermessen. (Tab.8)

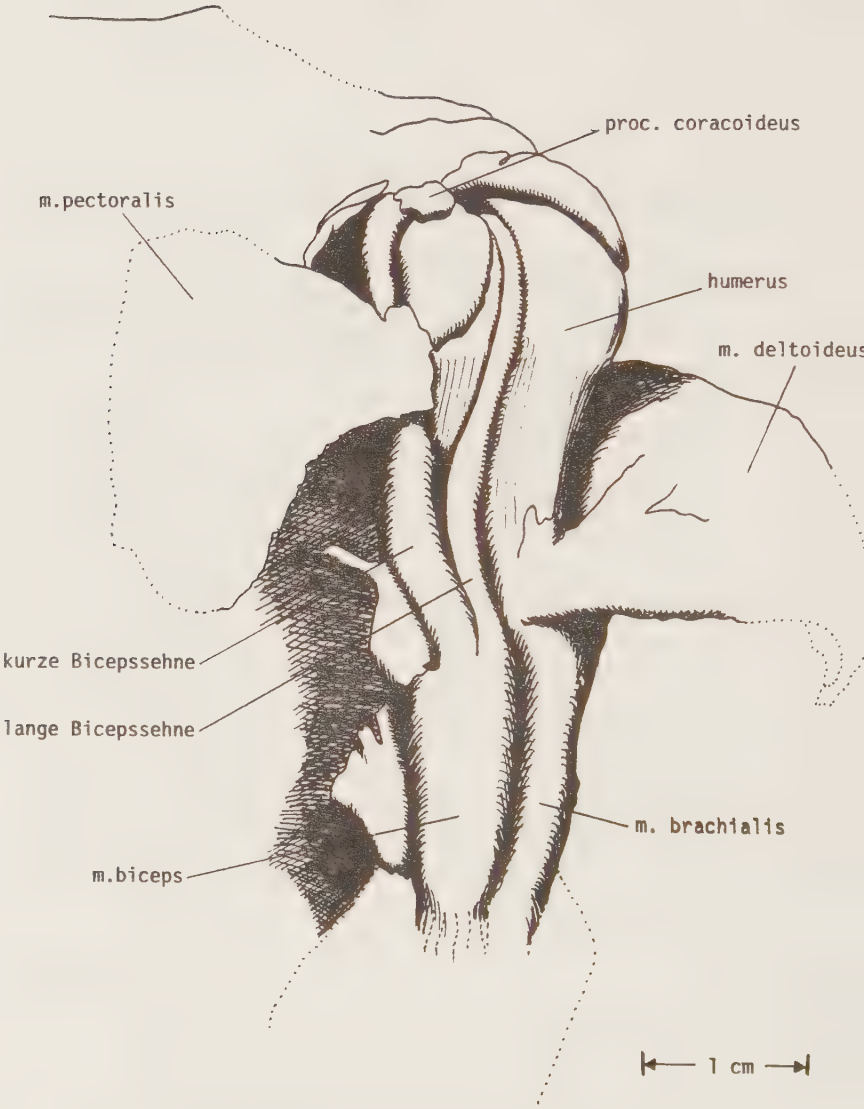


Abb. 7 Eröffneter Arm eines Foetus von 227 mm SSL.
(Objekt Nr. 31 , Alter 168-175 Tage)
(dreifach vergrößert)

3.3. TECHNISCHE HILFSMITTEL

1. Erwachsenen -Humeri

1 Holzbrett ; Größe 46 x 5,5 x 1,5 cm
2 Geodreiecke
1 Schublehre

2. Embryonale Humeri

1 Holzbrett ; Größe 46 x 5,5 x 1,5 cm , darauf ein Holzklotz(10,5 x 4,3 x 3 cm)
Millimeterpapier
Spiegelreflexkamera KONIKA T 3 Normalobjektiv 55 mm, f = 1,7
Zwischenringe
Umkehrring
Schwarzweißfilm ILFORD PAN F (18 DIN)
Kaltlichtquelle von Leitz
Negativvergrößerer
Pergamentpapier

4. MESSMETHODE

Es erscheint schwer, an einem unregelmäßig geformten Knochenteil, wie der Humeruskopf eines darstellt, feste Bezugspunkte oder Achsen zu finden.
So war es die erste Aufgabe, zu überprüfen, welche Punkte oder Achsen sich gut als Orientierungspunkte benutzen lassen. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Strecken und Winkel vermessen und dann nach zehnmaliger Messung verglichen, wie genau die Werte reproduzierbar waren.
In der Literatur herrscht diesbezüglich auch einige Unklarheit, häufig werden Achsen nicht genau erläutert, oder die Angaben über die Wiederholbarkeit der Achsen - oder Punktbestimmung sind spärlich.
Hinweise auf dieses Problem fand ich bei **EVANS** und **KRAHL** (1945), die diese Unklarheit in einem Artikel über die Verdrehung des Humerus beschreiben. Sie erwähnen, daß zum Beispiel **GEGENBAUR** (1868) eine Mittellinie des Humeruskopfes ermittelte, ohne in seiner Arbeit zu beschreiben, wie er sie bestimmt hat.
Die Autoren selber wählten eine Linie, die "theoretisch der vertikale Meridian des Humeruskopfes ist, welcher über den Pol der Gelenkkugel zieht." (Übersetzung von mir.)
Diese Achse liegt, nach **EVANS** und **KRAHL**, beim menschlichen Humerus ungefähr zwischen dem Ansatz des Musculus supraspinatus und des Musculus infraspinatus am Tuberculum majus.

Sie erwähnen weiter, daß diese Achse leicht mit dem Auge bestimmt werden könne. Ein geübter Beobachter könne mittels eines von **KRAHL** (1944) entwickelten "Torsiometers" eine Genauigkeit von ± 1° erreichen. Bei **BROCA** (1881) betrage diese Genauigkeit ± 2°.
Die Aussage, daß die Mittellinie über den Pol der Halbkugel läuft, führte mich zu der Idee, diesen Pol als Bezugspunkt zu nehmen.
Um zu überprüfen ob dies tatsächlich möglich ist, und ob die von **EVANS** und **KRAHL** angegebene Standardabweichung von 1° wiederholbar ist, wurden hier zuerst zehn Erwachsenen - Humeri je zehnmal vermessen.
Bei den Messungen wurde hier davon ausgegangen, daß es sich bei der Gelenkkugel fast genau um eine Halbkugel handelt. Dies entspricht auch der Ansicht von **EVANS** und **KRAHL** (1945), sowie derjenigen von **FICK** (1904).
Letzterer erwähnte Messungen von **BUGNION** (1900), welcher anhand von 1 cm dicken Frontalschnitten durch den Humeruskopf feststellte, daß die Krümmung der Gelenkkugel von unten nach oben gering abnimmt. Im Horizontalschnitt blieb der Krümmungsradius gleich.
Bei meinen Messungen war festzustellen, daß die Gelenkkugel beim Blick von vorne auf den Humeruskopf bei dreizehn der embryonalen Humeri genau einer Halbkugel entspricht. Fünf Objekte hatten eine um 0,05 - 0,3 mm abgeflachte Gelenkkugel. (Dies kann allerdings auch durch die Präparation verursacht worden sein.)

Bei allen Humeri nimmt der Krümmungsradius zum Ansatz der Tuberkel hin leicht zu, die Abweichung (nach innen) beträgt maximal 0,3 mm, dies ist aber nur bei drei Humeri der Fall. (Abb.8)

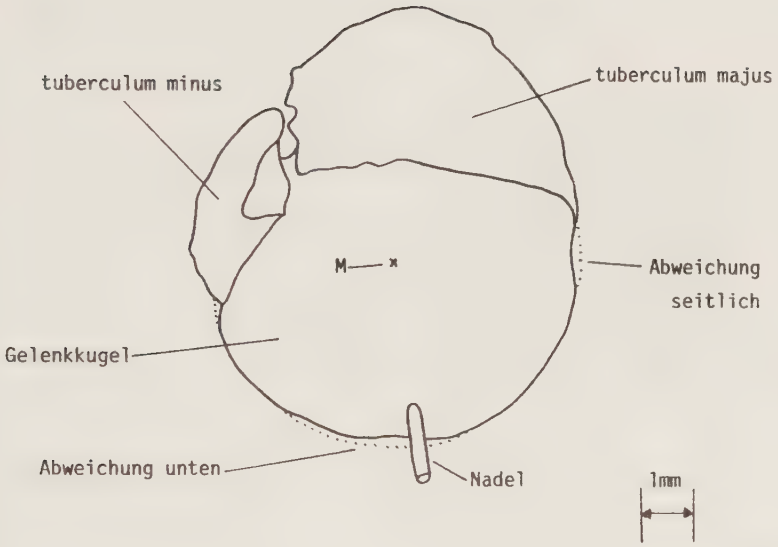


Abb. 8 Humeruskopf von Embryo Nr. 7 in der Vorderansicht. Die Abbildung gibt ein Beispiel für Abweichungen der Gelenkhalbkugel von einem idealen Kreis. (Idealer Kreis ist durch Punktlinie markiert.)

Diese Abweichung wird durch die am Rand liegenden knorpeligen Gelenklippen der Schultergelenkspfanne sicherlich ausgeglichen.
Bis auf den tuberkelnahen Abschnitt sind die Gelenkkugeln also meist ideal rund. (Tab.2)
Der Humerus entspricht damit beim Blick von vorne, schematisch gesehen, einer Halbkugel mit zwei auf ihr liegenden, unregelmäßig begrenzten Flächen.

TABELLE Nr. 2 Abweichungen der Gelenkhalbkugel vom idealen Kreis

Humerus Nr.	Abweichung (mm)	Ort der Abweichung
23	0,05	Ansatz tubercula , einseitig
22	0,1	Ansatz tubercula , einseitig
19	0,1	Ansatz tubercula , einseitig
17	0,1	Ansatz tubercula , einseitig
11	0,1	Ansatz tubercula , einseitig
13	0,1	Ansatz tubercula und seitlich
2	0,2	Ansatz tubercula , einseitig
10	0,05	Gelenkkugel unten
3	0,2	Ansatz tubercula , einseitig
1	0,1	Gelenkkugel unten
7	0,2	Ansatz tubercula und Gelenkkugel unten
9	0,15	Gelenkkugel unten
6	0,3	Gelenkkugel unten und Ansatz tubercula
28	0,3	Ansatz tubercula , einseitig
	0,2	Gelenkkugel unten
31	0,2	Ansatz tubercula , einseitig
32	0,3	Ansatz tubercula , einseitig
34	0,2	Ansatz tubercula , einseitig
33	0,2	Ansatz tubercula , einseitig

Erläuterung : " Ansatz tubercula , einseitig " bedeutet, daß die Gelenkkugel kurz vor dem Ansatz der tubercula vom Kreis abweicht.

" Gelenkkugel unten , bzw. seitlich " bedeutet , daß die Gelenkkugel an der bezeichneten Stelle vom Kreis abweicht. (siehe auch Abb. 8)

4.1. VERMESSUNG DER ERWACHSENEN - HUMERI

1. Die Gelenkhalbkugel wird von der Seite betrachtet und ihr Pol (höchster Punkt der Halbkugel, wenn diese mit den Rändern waagerecht liegt) bestimmt. (Abb.9)

2. Dieser Pol wird mit einem Bleistift markiert.

3. Da dieser markierte Punkt nun noch nicht unbedingt genau in der Mittelachse liegt, wird der Humerus nun von vorne betrachtet und mittels eines Geo - Dreiecks die Mitte auf der Höhe des markierten Punktes ausgemessen und als Pol markiert. (Abb.10)

4. Dann wird kurz oberhalb des Tuberkelansatzes nochmals die Mitte mit der Schublehre oder einem Geo-Dreick markiert. (Abb.11)

5. Nun verbindet man beide Punkte und erhält die Mittelachse. (Abb.12)

6. Dann wird der Humerus so auf das Brett gelegt, daß die Gelenkkugel und der mediale Epicondylus aufliegen.

7. Nun kann man mittels der an der Stirnseite des Brettes befestigten Geo - Dreiecke verschiedene Strecken und Winkel messen. (Abb.13)
   (Zur Bestimmung der Strecken siehe 4.5.,Abb.14 und Abb.15)

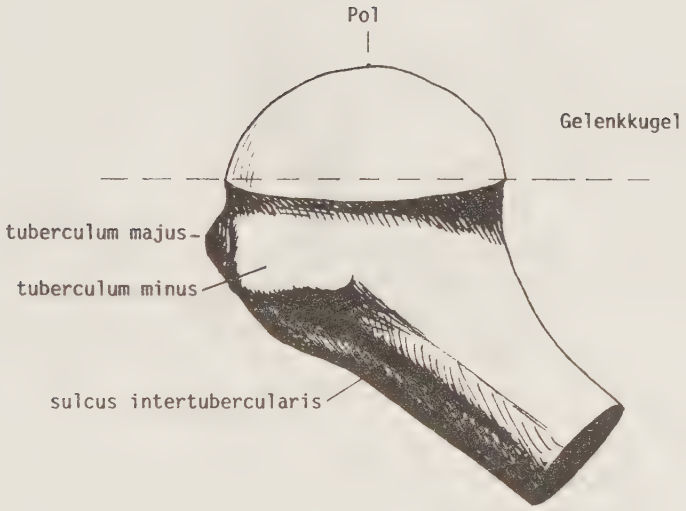


Abb. 9 Humerus seitlich (Schematisch)
Bestimmung des Pols.

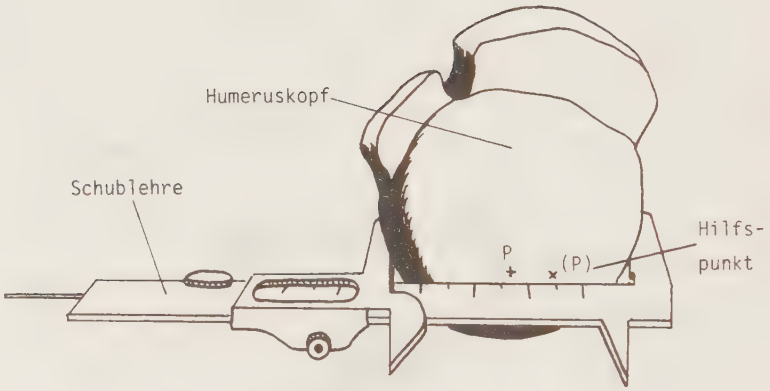


Abb. 10 Humeruskopf eines Humerus vom Erwachsenen in der Vorderansicht.
Die Abbildung zeigt,wie der in der Seitenansicht markierte Punkt (P) mit Hilfe der Schublehre in die Mitte gerückt wird. Dies ergibt dann den Pol P. Man sieht auch, daß die Lage der Schublehre zum Humeruskopf nicht festgelegt ist, der Humeruskopf könnte auch noch etwas nach links gedreht werden. Die Mittelachse ergibt sich erst nach Bestimmung eines zweiten Punktes .(Siehe folgende Abbildungen.)

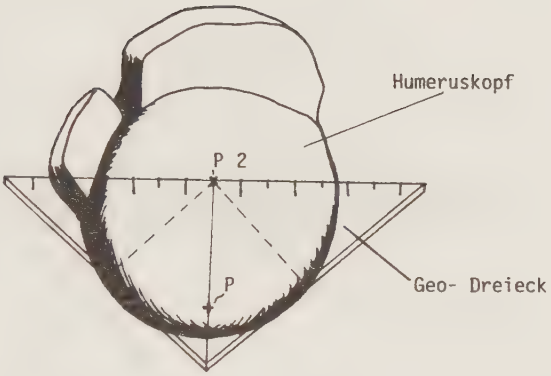


Abb. 11 Erwachsenen-Humerus in der Vorderansicht. Bestimmung eines zweiten Punktes , der in der Mitte zwischen den Rändern der Gelenkkugel liegt .(schematisch)

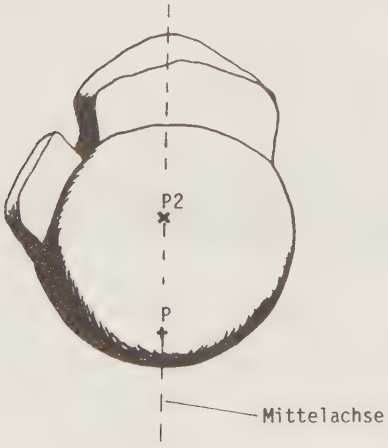


Abb. 12 Erwachsenen-Humerus in der Vorderansicht. Verbindung des Pols P und des zweiten Punktes P2 ergibt die Mittelachse .

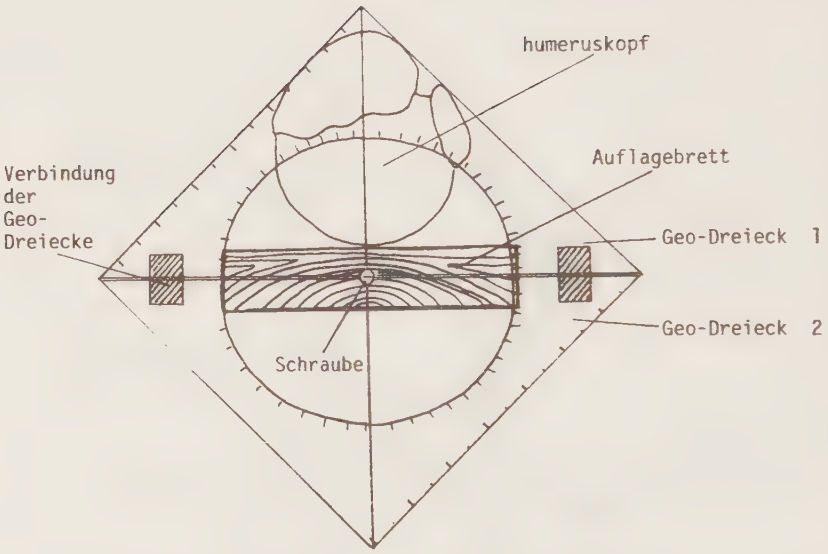


Abb. 13 Ansicht der Meßeinrichtung für Erwachsenen-Humeri von vorne . (Blick durch die Geo-Dreiecke)

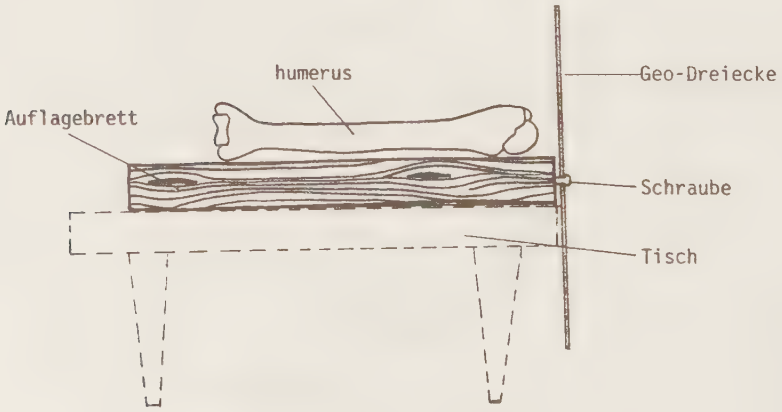


Abb. 13 Ansicht der Meßeinrichtung von der Seite

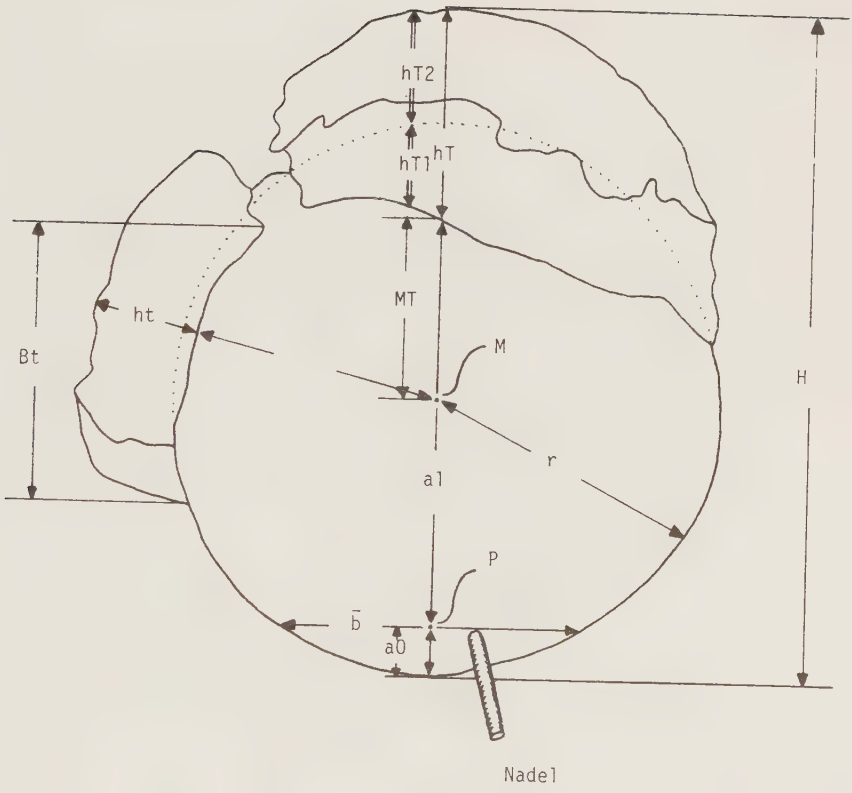


Abb. 14 Am Humeruskopf vermessene Strecken
(Die Strecken MT, hT1 und hT2 , sowie a0 wurden nur wegen der Übersichtlichkeit neben der Mittellinie gezeichnet.)

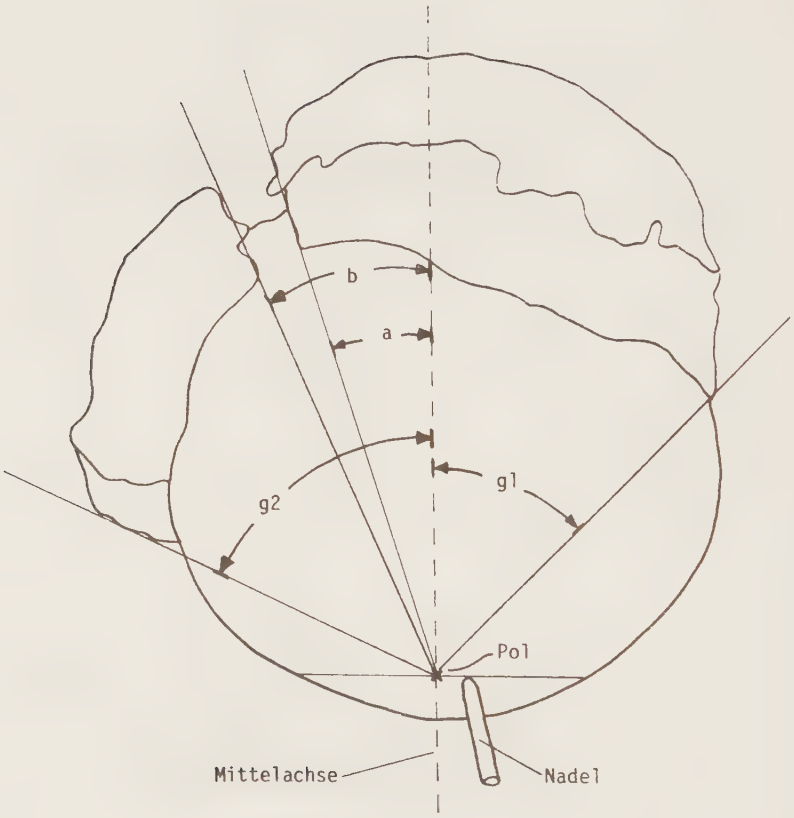


Abb. 15 Humeruskopf in der Vorderansicht .
Gemessene Winkel . (Siehe dazu:" 4.5. BESTIMMUNG DER MEßSTRECKEN UND WINKEL")

4.2. FEHLERQUELLEN (ERWACHSENEN - HUMERI)

Zufällige Fehler

1. Der Pol wird verschieden ermittelt.

2. Der Pol wird verschieden genau durch Messung in die Mittelachse gebracht.

3. Die Strecke $\bar{b}$ wird je nach Lage der Schublehre zur Gelenkkugel verschieden lang gemessen.

4. Der Hilfspunkt P2 wird verschieden genau bestimmt.

5. Der Humerus wird nicht genau senkrecht auf das Auflagebrett gelegt.

6. Die Blickrichtung und - höhe schwankt von Messung zu Messung etwas.

4.3. EMBRYONALE UND FOETALE HUMERI

Bei den embryonalen und foetalen Humeri mußte die oben angegebene Methode verändert werden, da eine direkte Messung mit der Schublehre die weichen Humeri zu stark verformt hätte und auch wegen der Kleinheit der Objekte nicht exakt durchführbar ist. Deshalb wurden die Humeri zuerst photographiert und dann mittels eines Negativprojektors zehnfach vergrößert. Zu Anfang wurden Photoabzüge von den Bildern gemacht, dann bin ich dazu übergegangen, die Photos einfach direkt auf Transparentpapier zu projizieren und auf das Papier mit Bleistift abzuzeichnen.
So läßt sich bei gleichem Ergebnis erheblich Zeit und Geld sparen.
Da sich der Pol natürlich auf dem nassen Knorpel nicht mit Bleistift markieren läßt, wurde er mit einer dort eingestochenen feinen Nadel (Minutennadel zum Insekten aufspiessen) markiert.

Der Meßvorgang im Einzelnen:

1. Der Pol wird durch Einstechen einer feinen Nadel markiert.
2. Der Humerus wird auf einen Holzklotz gelegt, an dessen Stirnseite Millimeterpapier befestigt ist.

3. Der Humeruskopf wird von vorne zusammen mit dem Millimeterpapier photographiert. (Abb.16)
   (Je nach Objektgröße mit verschiedenen Zwischenringen oder zusätzlich einem Umkehrring. Das ist ein Ring, mit dem man das Objektiv umgekehrt an der Kamera befestigen kann, so daß sich eine zusätzliche Vergrößerung ergibt.)

4. Das entwickelte Negativ wird auf ein Transparentpapier vergrößert projeziert (Maßstab 1:5 oder 1:10) und mit Bleistift gezeichnet. (Abb.16)

5. Das gezeichnete Bild wird vermessen. (Strecken siehe Abb.14 und Abb.15)

Auch hier wurde jede Messung zehnmal wiederholt, wobei sämtliche, oben angeführte Schritte, jedesmal neu wiederholt wurden.

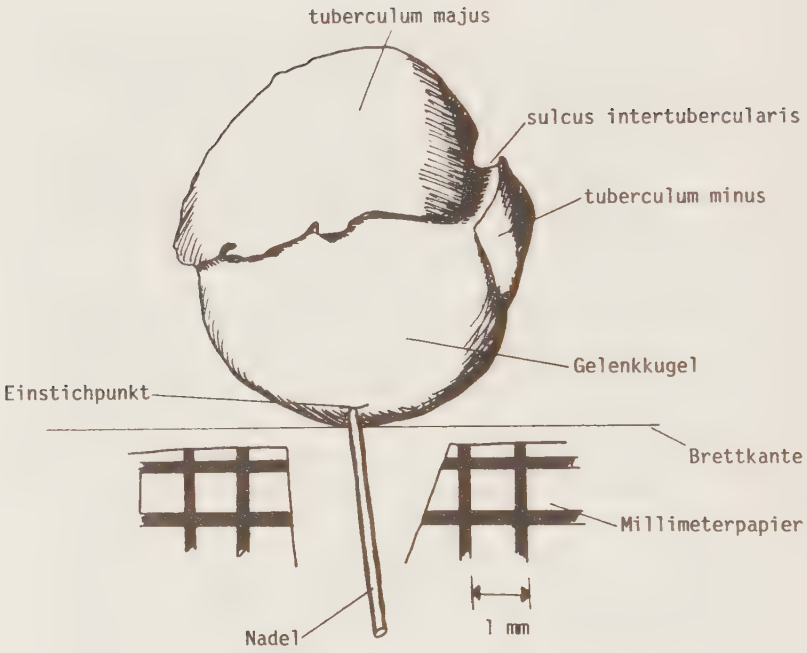


Abb. 16 Embryonaler Humeruskopf von vorne gesehen ,
wie er photographiert wird. (10 fach vergrößert)

4.4. FEHLERQUELLEN (EMBRYONALE HUMERI)

Zufällige Fehler

1. Die Nadel wird an verschiedenen Punkten eingestochen.

2. Der Humerus wird nicht genau in der Längsachse hingelegt.

3. Das Objekt hat verschiedene Abstände von der Kante des Auflageklotzes, es erscheint dann zum Beispiel größer, wenn es nach vorne übersteht, da die Kamera immer auf die Ebene des Millimeterpapiers scharf eingestellt ist.

4. Beim Vergrößern wird nicht genau auf 1:10 vergrößert.

5. Der Pol der Kugel wird nicht genau ermittelt, da es keinen genauen Anhaltspunkt für die Lage der Strecke $\overline{B}$ gibt.

6. Abhängig von 5. wird die Mittelachse nicht genau ermittelt.

7. Der Unterrand des Tuberculum majus wird verschieden ermittelt, da Schatten oder überhängende Gewebeteile in der Negativprojektion stärker irritieren als auf einem Photo.

Systematische Fehler

1. Durch häufiges Einstechen wird allmählich der Knorpel zerstört, die Nadel rutscht leicht in dasselbe Loch wie bei der letzten Messung. (Dies geschieht nach ca. achtmal messen, es wurde möglichst nur dann in das alte Loch gestochen, wenn es zufällig genau getroffen wurde.

2. Da der Humerus mit der Halbkugel und dem medialen Epicondylus aufliegt und die Halbkugel etwas größer ist als der Epicondylus, ist der Schaft etwas schräg gestellt, er liegt nicht genau horizontal.
   Dadurch ergibt sich bei den Humeri, die größer als die Nummer 11 sind (1,87 cm) ein um 10% geringerer Wert für die Höhe des Tuberculum majus. Dies wurde durch vergleichende Messung mit ungefähr horizontal gelegenen Humeri überprüft. (Dabei wurde unter die Epicondylen ein Styroporkeil geschoben, so daß der Humerus etwas hinten angehoben wurde und annähernd waagerecht lag.)
   Da sich aber auch die Achse durch den Humeruschaft nur annähernd bestimmen läßt und somit auch eine waagerechte Lage nicht genau erreichbar ist, wurde dann weiter in der leicht schrägen Lage gemessen.

4.5. BESTIMMUNG DER MESSTRECKEN UND WINKEL

Bei der Bestimmung der Strecken und Winkel muß zwischen der Vermessung der Erwachsenen - Humeri und derjenigen der embryonalen Humeri unterschieden werden.

1. Erwachsenen - Humeri

Die Erwachsenen - Humeri wurden, wie in der"Meßmethode" beschrieben, auf ein Auflagebrett gelegt und mit einer Hand so festgehalten, daß der Humeruskopf möglichst senkrecht zum Auflagebrett steht. (Mit dem Auge geschätzt) Dann wurde von vorne durch die am Brett befestigten Geo - Dreiecke hindurchgesehen und die Strecken ausgemessen. Um den Blickwinkel möglichst konstant zu halten, wurde er so gewählt, daß gerade nur die Stirnkante des Auflagebrettes zu sehen war und die Längsachse der Geo - Dreiecke in der Blickmitte lag. Die Geo-Dreiecke wurden so gedreht, daß die Basis (mit der Meßeinteilung) senkrecht zum Auflagebrett stand.

2. Embryonale Humeri

Die embryonalen Humeri wurden indirekt vermessen. Sie wurden photographiert und die danach hergestellte zehnfach bzw. fünffach vergrößerte Umrißzeichnung wurde dann mit dem Geo - Dreieck vermessen.

Da das Geo - Dreieck eine Maßeinteilung von 1 mm hat, und damit die vergrößerte Zeichnung vermessen wurde, ergab sich eine maximal erreichbare Meßgenauigkeit von 0,1 mm bis 0,2 mm.
Die unterschiedlichen Strecken wurden möglichst in der Mittelachse des Humeruskopfes vermessen. Diese kann bis zu 5° in ihrer Lage um den Mittelpunkt schwanken.
Wie man an der geringen Schwankung der Meßwerte erkennt, entsteht dadurch kein größerer Meßfehler.

Für die Bezeichnung der Strecken gilt folgendes:

Das **Tuberculum majus** wird durch **T** gekennzeichnet, das **Tuberculum minus** durch **t.**
H,h bedeutet die **Höhe**, **B** die **Breite** der vermessenen **Struktur.**
Strecken vom **Mittelpunkt** zu den **Tubercula** werden als **MT** bzw. **Mt** bezeichnet.

Im folgenden wird die Bestimmung der einzelnen Strecken erläutert.(Vergleiche dazu **Abb.14** und **Abb.15**)

H = Gesamthöhe. Sie wird vom untersten Punkt der Halbkugel bis zum höchsten Punkt des Tuberculum majus gemessen. (Entlang der Mittelachse)

hT = Höhe des Tuberculum majus. Sie wird auf der Mittelachse gemessen, von dem Unterrand des Tuberculum majus bis zu seinem höchsten Punkt.

ht = Höhe des Tuberculum minus. Sie wird vom Mittelpunkt aus gemessen, an der Stelle der größten Breite des Tuberculums.

a1 = Abstand vom Pol der Halbkugel bis zum Tuberculum majus, auf der Mittelachse gemessen.

a0 = Abstand von dem untersten Punkt der Halbkugel bis zum Pol. Sie dient zur Kontrolle der Einstich-genauigkeit.

$\overline{b}$ = Breite der Halbkugel auf der Höhe des Nadeleinstichs möglichst waagerecht, sie dient ebenfalls zur Kontrolle der Einstichsgenauigkeit.

M = Mittelpunkt der von oben betrachteten Halbkugel. Er wird leicht ermittelt durch verschieden große konzentrische Kreise, die unter das Transparent-papier gelegt werden, auf dem der Humerus gezeichnet ist. Der Mittelpunkt des Kreises, der mit der Gelenkhalbkugel übereinstimmt, wird als Mittelpunkt eingezeichnet.

Außerdem läßt er sich mit Zirkel und Lineal bestimmen, indem man mit dem Zirkel um vier, auf der Halbkugel liegende Punkte, je einen Kreis schlägt und die Schnittpunkte der Kreise mit dem Lineal verbindet. Man erhält dann zwei Geraden, die senkrecht aufeinander stehen. Ihr Schnittpunkt ist der Mittelpunkt des Kreises.

MT = Strecke vom Mittelpunkt zur Unterkante des Tuberculum majus.(Auf der Mittelachse)

Mt = Strecke vom Mittelpunkt zum Unterrand des Tuberculum minus.(In der Richtung der Strecke ht gemessen.)

BT = Breite des Tuberculum majus von der Kante zum Sulcus intertubercularis bis zum Außenrand.

Bt = Breite des Tuberculum minus an seiner Berührungsfläche zur Halbkugel.

r = Radius der Halbkugel

hTl= Strecke vom Unterrand des Tuberculum majus bis zum ergänzten Halbkreis in der Mittelachse.

hT2= Strecke vom ergänzten Halbkreis bis zur Oberkante des Tuberculum majus.
Die Strecken hT1 und hT2 ermöglichen es, die Lage des Tuberculum majus zur Halbkugel zu bestimmen. Es läßt sich damit ohne größere Berechnung feststellen, ob das Tuberculum majus nach oben oder nach unten wandert.

a = Winkel zwischen der Mittelachse und der am Sulcus intertubercularis liegenden Begrenzung des Tuberculum majus.

b = Winkel zwischen der Mittelachse und dem am Sulcus intertubercularis liegenden Rand des Tuberculum minus.

g1 = Winkel zwischen der Mittelachse und dem äußeren Rand des Tuberculum majus.

g2 = Winkel zwischen der Mittelachse und dem äußeren Rand des Tuberculum minus.

5. ERGEBNISSE ERWACHSENEN - HUMERI

5.1. ALLGEMEINES ZUR MESSMETHODE BEIM ERWACHSENEN - HUMERUS

Es ging in dem ersten Teil der Arbeit darum, herauszufinden, ob es überhaupt möglich ist, an dem Humeruskopf bestimmte Strecken oder Winkel mit einer wiederholbaren Methode zu messen.
Außerdem sollte eine Aussage über die Genauigkeit der gemessenen Werte gemacht werden.
Es wurde deshalb jeder Humerus zehnmal völlig neu vermessen und die Spuren vorangegangener Messungen wurden sorgfältig entfernt.

Die zehnmalige Messung der Erwachsenen - Humeri diente dazu, die Methode in schneller und gröberer Art zu überprüfen.
Diese grobe Orientierung half zwei Fragen zu klären:

1. Ist die Methode sinnvoll?
2. Lassen sich damit so gute Ergebnisse erzielen, daß auch bei gröberer, schneller und nicht übergenauer Einhaltung der Kriterien noch aussagekräftige Werte herauskommen?

Dieses zweite Kriterium schien wichtig, da eine Methode, die zur Vermessung von biologischen Strukturen dient, noch einen gewissen Spielraum für Varietäten lassen muß.

Außerdem ist es dann wahrscheinlicher, daß ein zweiter Untersucher diese Methode auch verwenden kann.

Um die Ergebnisse nicht durch die Erinnerung an die vorangegangenen Werte zu verfälschen, wurden diese abgedeckt und zwischen der ersten und der zweiten Messung eines Knochens erst die neun anderen vermessen.

Allgemein ergeben sich folgende Aussagen

1. Insgesamt gesehen werden gerade Strecken erheblich genauer gemessen als Winkel.

2. Die Winkel verändern sich bei geringfügigen Abweichungen der Bezugspunkte schon stark.
   (Zum Beispiel bedingt eine Abweichung um einen Millimeter an einem Bezugspunkt schon eine Winkeländerung von 2° auf einer Strecke von 5 cm.)

5.2. MESSWERTE ERWACHSENEN-HUMERI

ANMERKUNG ZU DEN MESSWERTTABELLEN DER ERWACHSENEN - HUMERI

Im Folgenden sind die Meßwerte der Erwachsenen - Humeri aufgetragen, wobei in der Waagerechten jeweils die gemessene Größe steht. (Abkürzungen siehe Ende der Arbeit)
In der Senkrechten sind die verschiedenen Messungen eingetragen.
Die Gesamthöhe H wurde erst ab der 4.Messung bestimmt, ebenso die Größe aO .

TABELLE Nr.3 Meßwerte Erwachsenenhumerus Nr.1

Humeruslänge 34,6 cm

Messung Nr.	H	hT	a12	a0	a1	$\bar{b}$	a	b
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	°	°
1		0,94	5,37		4,39	4,21	8	15
2		0,97	5,35		4,36	4,27	9	15,5
3		0,97	5,35		4,38	4,28	9	15,5
4	6,69	1,09	5,45	1,24	4,25	4,17	12	20
5	6,65	1,05	5,35	1,3	4,37	4,3	9	16
6	6,59	1,02	5,44	1,15	4,29	4,17	8	15
7	6,64	1,06	5,41	1,23	4,35	4,08	8	15
8	6,57	1,04	5,34	1,23	4,31	4,25	7,5	15,5
9	6,42	1,03	5,33	1,09	4,34	4,11	9,5	17
10	6,63	1,09	5,37	1,26	4,35	4,16	7	15,5
$\bar{x}$	6,58	1,03	5,37	1,21	4,34	4,2	8,78	16,11
s	0,09	0,048	0,039	0,05	0,04	0,07	1,46	1,58

TABELLE Nr.3 Meßwerte Erwachsenenhumerus Nr.2

Humeruslänge 32,0 cm

Messung Nr.	H (cm)	hT (cm)	a12 (cm)	a0 (cm)	a1 (cm)	$\tilde{b}$ (cm)	a °	b °
1		1,19	5,0		3,7	3,9	10,5	18,5
2		1,11	4,96		3,88	3,67	11	18,5
3		1,07	4,85		3,76	4,0	10	17
4	5,93	1,09	4,97	0,96	3,79	3,8	11	18,5
5	6,03	1,13	5,04	0,99	3,77	3,82	9	17
6	5,98	1,1	4,98	1,0	3,88	3,82	7	15
7	5,92	1,02	4,99	0,93	3,99	3,68	7	16
8	5,79	1,06	5,0	0,79	3,73	3,46	8,5	16,5
9	5,84	1,13	5,01	0,83	3,86	3,48	10	18
10	5,89	1,08	5,0	0,89	3,87	3,68	6	14
$\bar{x}$	5,91	1,09	4,98	0,91	3,84	3,71	8,85	16,72
s	0,09	0,04	0,05	0,08	0,08	0,17	1,84	1,54

TABELLE Nr.3 Meßwerte Erwachsenenhumerus Nr.3

Humeruslänge 33,7 cm

Messung Nr.	H	hT	a12	a0	a1	$\bar{b}$	a	b
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	°	°
1		1,14	5,09		3,96	3,7	6	11
2		1,2	5,07		3,96	3,72	8	14
3	5,9	1,18	5,04	0,86	3,87	3,64	11	17
4	5,93	1,21	5,04	0,89	3,94	3,73	7	13
5	5,88	1,07	5,07	0,81	3,93	3,73	7	14
6	5,84	1,11	5,08	0,76	3,95	3,6	5,5	12
7	5,96	1,16	5,14	0,82	3,93	3,65	7	13
8	5,81	1,02	5,05	0,76	3,94	3,36	6	12
9	5,97	1,07	5,16	0,81	3,96	3,49	7	13
10	5,97	1,04	5,14	0,83	3,99	3,56	7	13
$\bar{x}$	5,91	1,12	5,09	0,82	3,94	3,61	7,28	13,44
s	0,07	0,06	0,046	0,03	0,03	0,1	1,56	1,51

TABELLE NR.3 Meßwerte Erwachsenenhumerus Nr.4

Humeruslänge 31,0 cm

Messung Nr.	H (cm)	hT (cm)	a12 (cm)	a0 (cm)	a1 (cm)	$\bar{b}$ (cm)	a °	b °
1		0,97	4,46		3,41	3,22	7	18
2		0,96	4,44		3,41	3,17	8	18
3		1,08	4,41		3,3	3,26	6	16
4	5,21	0,95	4,45	0,76	3,27	3,17	5,5	15
5	5,10	1,06	4,42	0,68	3,3	3,15	4,5	14,5
6	5,05	0,93	4,4	0,65	3,44	3,01	3	13
7	5,20	0,9	4,44	0,76	3,43	3,18	3	13
8	5,24	0,95	4,51	0,73	3,42	3,11	2,5	13
9	5,12	1,03	4,49	0,63	3,32	2,91	3	13
10	5,14	0,97	4,45	0,69	3,35	3,14	5	15
$\bar{x}$	5,14	0,98	4,45	0,70	3,41	3,13	4,5	14,50
s	0,07	0,06	0,035	0,05	0,075	0,1	1,82	1,73

TABELLE Nr.3 Meßwerte Erwachsenenhumerus Nr.5

Humeruslänge 31,7 cm

Messung Nr.	H	hT	al2	aO	al	$\bar{b}$	a	b
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	°	°
1		1,2	4,97		3,91	3,58	5	11,5
2		1,2	5,05		3,77	3,77	7	13,5
3		1,2	5,09		3,84	3,73	9	16
4	6,0	1,19	5,05	0,95	3,96	3,77	7,5	15
5	6,18	1,19	5,1	0,98	3,85	3,63	7	15
6	6,06	1,24	5,14	0,92	3,9	3,69	7	14,5
7	5,98	1,24	5,05	0,93	3,97	3,62	7	14
8	6,08	1,13	4,98	1,1	3,77	3,73	6,5	13,5
9	6,03	1,25	5,14	0,89	3,92	3,63	7	15
10	6,24	0,92	5,06	1,18	3,86	3,61	6	13,5
$\bar{x}$	6,07	1,18	5,06	0,99	3,87	3,68	7,11	14,44
s	0,08	0,09	0,05	0,06	0,07	0,07	0,82	0,88

TABELLE Nr.3 Meßwerte Erwachsenenhumerus Nr.6

Humeruslänge 31,0 cm

Messung Nr.	H	hT	a12	a0	a1	$\bar{b}$	a	b
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	°	°
1		1,05	4,57		3,41	3,01	4	16
2		1,01	4,52		3,51	3,21	10	18
3	5,26	0,97	4,46	0,8	3,42	3,15	10	18
4	5,31	1,08	4,45	0,86	3,38	3,2	10	17
5	5,34	1,04	4,49	0,85	3,42	3,07	7	15
6	5,3	1,07	4,47	0,83	3,04	3,04	7,5	15
7	5,42	1,07	4,55	0,87	3,53	3,23	8	15,5
8	5,29	0,99	4,5	0,79	3,42	3,03	9	17
9	5,28	1,11	4,53	0,75	3,43	3,09	9,5	16
10	5,33	1,04	4,56	0,77	3,41	3,03	10	18
$\bar{x}$	5,32	1,04	4,52	0,82	3,44	3,12	8,94	16,6
s	0,04	0,05	0,04	0,05	0,045	0,08	1,29	1,3

TABELLE Nr.3 Meßwerte Erwachsenenhumerus Nr.7

Humeruslänge 31,4 cm

Messung Nr.	H (cm)	hT (cm)	a12 (cm)	a0 (cm)	a1 (cm)	$\bar{b}$ (cm)	a °	b °
1		1,01	44,7		3,46	3,19	5	13
2		1,09	4,56		3,46	3,21	8	16
3	5,42	0,97	4,51	0,91	3,46	3,3	6,5	15,5
4	5,51	1,05	4,58	0,93	3,48	3,32	9	17
5	5,40	1,13	4,55	0,85	3,38	3,19	10,5	19
6	5,55	1,13	4,7	0,85	3,45	3,21	14	23
7	5,52	1,07	4,65	0,87	3,53	3,23	8	15,5
8	5,47	1,1	4,64	0,83	3,5	3,16	12,5	21,5
9	5,44	1,14	4,85	0,86	3,44	3,24	12	20
10	5,54	1,13	4,59	0,95	3,43	3,43	11,5	20,5
$\bar{x}$	5,49	1,09	4,59	0,87	3,45	3,25	10,22	18,66
s	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,08	2,48	2,78

TABELLE Nr.3 Meßwerte Erwachsenenhumerus Nr.8

Humeruslänge 33,9 cm

Messung Nr.	H (cm)	hT (cm)	a12 (cm)	a0 (cm)	a1 (cm)	$\bar{b}$ (cm)	a °	b °
1		1,06	4,76		3,73	3,55	6	15
2		1,09	4,78		3,76	3,63	6	15
3		1,02	4,79		3,8	3,33	6	14
4	5,53	1,09	4,78	0,75	3,63	3,57	10	18,5
5	5,53	1,11	4,75	0,78	3,68	3,56	10	19
6	5,60	1,09	4,87	0,73	3,78	3,62	12	21,5
7	5,48	1,04	4,84	0,64	3,75	3,18	6	15,5
8	5,32	1,1	4,83	0,49	3,73	3,04	10,5	19,5
9	5,57	1,06	4,85	0,72	3,76	3,39	8	17
10	5,53	1,05	4,83	0,7	3,76	3,38	6,5	16,5
$\bar{x}$	5,51	1,07	4,81	0,68	3,74	3,41	8,33	17,39
s	0,10	0,03	0,04	0,10	0,06	0,21	2,33	2,42

TABELLE Nr.3 Meßwerte Erwachsenenhumerus Nr.9

Humeruslänge 33,5 cm

Messung Nr.	H	hT	a12	a0	a1	$\bar{b}$	a	b
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	°	°
1		1,16	5,17		3,88	3,62	11	18
2		1,2	5		3,92	3,84	10,5	17,5
3		1,14	5,04		3,95	3,8	14	20
4	6,05	1,23	5,06	0,99	3,93	3,9	11,5	18
5	5,97	1,15	5,04	0,93	3,85	3,75	14	20,5
6	5,99	1,19	5,09	0,9	3,91	3,61	13	20,5
7	6,10	1,19	5,11	0,99	3,91	3,69	11	17,5
8	6,05	1,14	5,09	0,96	3,91	3,83	10	17
9	6,27	1,16	5,24	1,03	3,9	3,84	12	19
10	6,14	1,13	5,12	1,02	3,86	3,88	10,5	18
$\bar{x}$	6,09	1,17	5,09	0,97	3,90	3,79	11,83	18,67
s	0,11	0,03	0,07	0,05	0,03	0,09	1,52	1,37

TABELLE Nr.3 Meßwerte Erwachsenenhumerus Nr.10

Humeruslänge 30,6 cm

Messung Nr.	H	hT	a12	a0	a1	$\bar{b}$	a	b
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	°	°
1		1,2	4,69	0	3,66	3,5	11	19
2		1,23	4,89		3,63	3,35	14	22
3		1,23	4,89		3,75	3,29	11	19
4	4,99	1,17	4,92	0,7	3,72	3,25	10	18
5	5,59	1,16	4,83	0,76	3,8	3,37	9	18
6	5,64	1,11	4,87	0,77	3,76	3,19	7	16
7	5,69	1,16	4,96	0,73	3,72	3,18	6	14
8	5,71	1,12	4,94	0,77	3,64	3,33	12	21
9	5,64	1,1	4,89	0,75	3,74	3,24	11,5	20,5
10	5,63	1,18	4,92	0,71	3,67	3,26	7,5	17
$\bar{x}$	5,54	1,16	4,90	0,75	3,71	3,27	9,78	18,39
s	0,27	0,05	0,04	0,02	0,06	0,07	2,62	2,55

5.3. ERGEBNISSE

Die einzelnen Strecken und Winkel sind wie folgt meßbar:

1. Die **Höhe des Humeruskopfes (H)** läßt sich sehr genau messen.
   Die Standardabweichung beträgt unter 1% vom Mittelwert. Die Werte liegen auch gut symetrisch verteilt um den Mittelwert, was daran erkennbar ist, daß der Mittelwert meist dem Medianwert entspricht.

2. Die **Höhe des Tuberculum majus (hT)** läßt sich auch recht gut bestimmen, die Standardabweichung beträgt ca. 5% vom Mittelwert. (Bei einer Strecke von zum Beispiel 1,12 cm also 0,6 mm !)

3. Der **Pol der Kugel** läßt sich sehr genau bestimmen, am Humeruskopf selber trifft man ihn auf 1 mm genau wieder, wenn man zum Vergleich die alte Markierung ganz fein stehen läßt, kann man es direkt überprüfen.
   Aber auch in den **Strecken (aO) und ($\bar{b}$)**, die etwas über die Lage des Pols zum unteren Teil der Gelenkkugel aussagen, wird dies sichtbar.
   Die **Strecke (aO)** wird auch auf 0,6 mm genau gemessen, dies ist bei einer Länge von ca. 0,8 cm eine Standardabweichung von 8%. Das ist zwar statistisch keine geringe Abweichung, aber für eine makroskopische Messung am Knochen scheint es mir ganz gut zu sein.

Die **Strecke (b)**, die natürlich von (a0) abhängt, ist bis auf 4,5% Standardabweichung genau meßbar. (Entspricht 1 mm)

4. Die **Strecke (a1)** läßt sich ebenfalls gut messen, die Standardabweichung beträgt 1 - 2% vom Mittelwert, das entspricht 0,3 mm.

5. Die **Winkel (a) und (b)** lassen sich dagegen schlecht messen. Ich hätte sie gerne benutzt, um Aussagen über eine Verschiebung der Tuberkel machen zu können, aber die Abweichung ist so groß, daß die Winkel nicht auszuwerten sind.
   Das bedeutet auch, daß die Mittelachse, die ja die Bezugsachse für die Winkel darstellt, nur ungenau bestimmbar ist.

5.4. DISKUSSION DER MESSMETHODE BEIM ERWACHSENEN - HUMERUS

Bei den zehn in dieser Arbeit vermessenen Humeri, die eine Länge von 30,6 - 34,5 cm hatten, und deren Vermessung zur groben Orientierung über die Durchführbarkeit der Meßmethode diente, war diese Methode einfach und genau durchführbar.
Wegen der geringen Zahl der Objekte sind natürlich keine zu verallgemeinernden statistischen Ergebnisse zu erzielen.
Auffallend ist, daß die Höhe des Tuberculum majus mit 1,1 cm im Mittel recht konstant ist. (Abb. 17) Die Abweichung beträgt gerade 1 mm.
Die Gesamthöhe des Humeruskopfes schwankte stärker, und zwar von 4,45 - 5,37 im Mittel. (Tab.3)

Die Winkel, die bestimmt wurden, zeigten bei einzelnen Humeri so große Schwankungen, daß sie nicht weiter ausgewertet wurden. Die sichere Bestimmung von Winkeln ist schwierig, weil schon kleine Veränderungen der Bezugspunkte relativ starke Schwankungen der Winkel bewirken.

Nach den hier gemachten Erfahrungen ist es erstaunlich, daß EVANS und KRAHL (1945) eine Genauigkeit von 1° bei der Vermessung und Bestimmung der Mittelachse angeben. Diese Achse konnte hier nur mit Schwankungen von ca. 5° bestimmt werden.

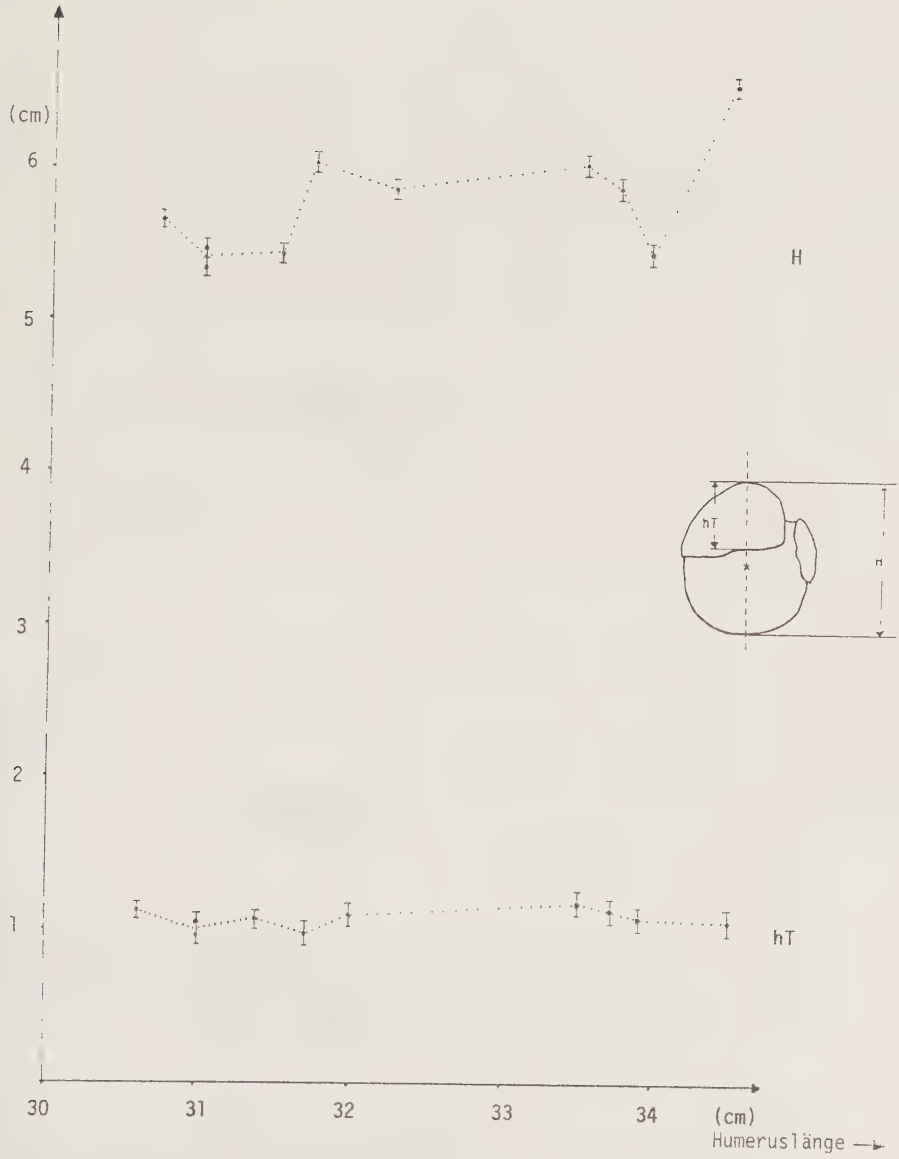


Abb. 17 H und hT der Erwachsenen-Humeri gegen die Humeruslänge aufgetragen.

6. ERGEBNISSE EMBRYONALE HUMERI

6.1. ALLGEMEINES ZUR MESSMETHODE BEIM EMBRYONALEN HUMERUS

Da die Vermessung der embryonalen Humeri das eigentliche Thema der Arbeit war, wurde sie ausführlicher vorgenommen, als die orientierende Vermessung der Erwachsenen - Humeri.
Es zeigte sich, daß grundsätzlich eine Meßgenauigkeit von ca. 0,3 mm (im Durchschnitt) erreicht werden kann. (Siehe Werte für s in der **Tabelle Nr.4**)
Dies bedeutet, daß größere Strecken relativ genauer gemessen werden, als sehr kleine. (z.B. Objekt 31: $\bar{x}$ hT2 = 2,03; s = 0,29 mm, Abweichung = 15%. $\bar{x}$H = 11,68 mm; s = 0,28 mm, Abweichung entspricht 2,5%.)

Um herauszufinden, welche Strecken gut meßbar sind, wurden verschiedene Strecken und Winkel gemessen. (**Abb.14** und 15)

Allgemein gilt folgendes:

1. Gerade Strecken lassen sich erheblich genauer messen, als Winkel.

2. Die Bestimmung des Pols der Halbkugel erfolgt auf ca. 0,8 mm genau. Diese Abweichung ist bei der Kleinheit der Humeri recht groß, vor allem, da es sich um einen zentralen Bezugspunkt handelt. (Die Abweichung ist bildlich in **Abb.18** dargestellt.)

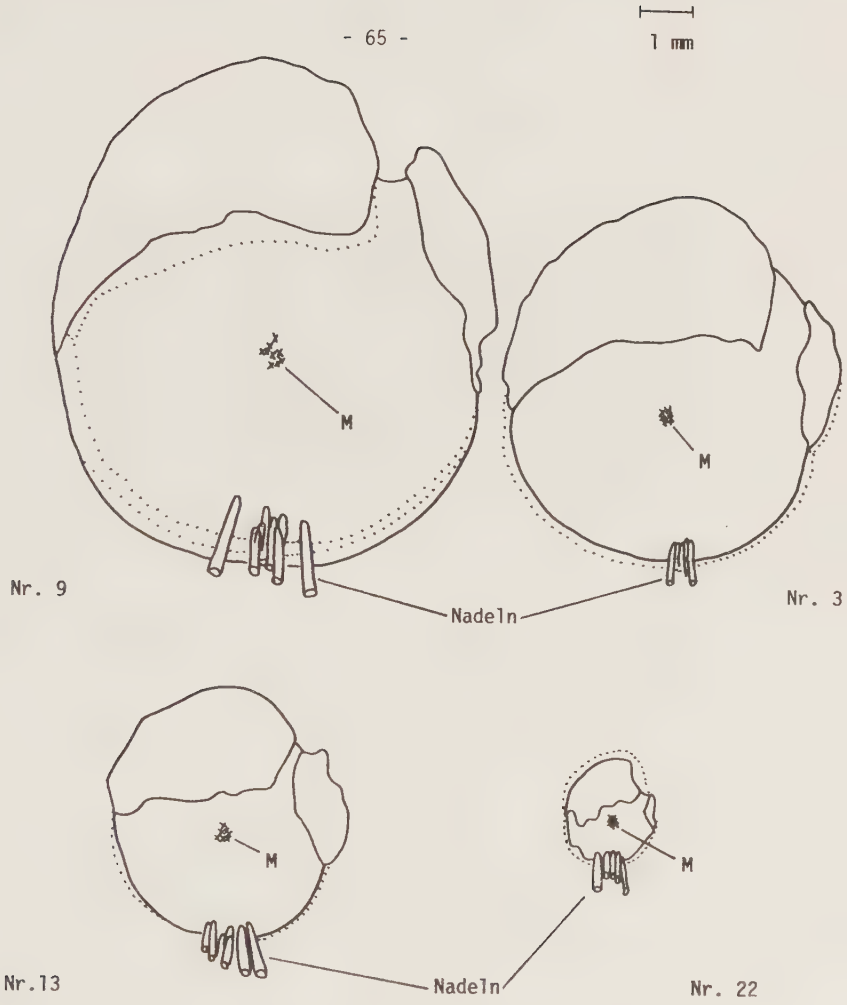


Abb. 18 Vorderansicht verschieden großer Humerusköpfe . Die Umrisszeichnungen von verschiedenen Messungen wurden hier übereinandergezeichnet,um die Abweichungen in der Bestimmung des Pols und des Mittelpunktes M zu zeigen. Die gestrichelten Linien zeigen die maximale Abweichung des Umrisses . (alle zehnfach vergrößert.)

Es wurde deshalb dazu übergegangen, den Mittelpunkt M des Kreises, dessen eine Hälfte durch den Rand der Gelenkhalbkugel gebildet wird, als weiteren Bezugspunkt zu verwenden.
Dieser Mittelpunkt M ist erheblich genauer bestimmbar, die gesamte Abweichung beträgt maximal 0,2 - 0,3 mm. In welchem Bereich er bestimmbar ist, sieht man ebenfalls auf Abb.18. Er stellt auch einen funktionell sinnvollen Punkt dar, da er dem Eintrittspunkt der senkrechten Drehachse des Humerus in die Gelenkhalbkugel entspricht.

Für die Bewertung der Meßbarkeit der einzelnen Strecken wurden folgende Kriterien zugrunde gelegt:

1. Sehr gut meßbar sind Strecken, bei denen die Standardabweichung 5% oder weniger beträgt.

2. Einigermaßen gut meßbar sind Strecken, bei denen die Standardabweichung bis 10% beträgt, vor allem bei den kleinen Humeri, bei denen diese Abweichung ja einem realen Wert von ca. 0,1 mm entspricht.

3. Schlecht meßbar sind Strecken mit darüber hinaus gehender Abweichung, d.h. über 10%.

Allerdings ist die Abweichung allein kein Kriterium für die Verwertbarkeit der Ergebnisse.

Zusätzlich muß nämlich noch berücksichtigt werden, wie groß die Unterschiede der Meßwerte bei den einzelnen Humeri sind. So sind in der vorliegenden Arbeit die Größen der Humeri so unterschiedlich, daß auch größere Abweichungen noch tolerierbar sind. Aus den Abb.19,20 und 21 wird ersichtlich, daß nur die Werte gleich großer Humeri nicht voneinander zu trennen sind.
Zumindest über Tendenzen läßt sich also auch bei den schlecht meßbaren Strecken eine Aussage machen.

6.2. MESSWERTE EMBRYONALE HUMERI

ANMERKUNGEN ZU DEN MESSWERTTABELLEN DER EMBRYONALEN HUMERI

Im Folgenden sind die Meßwerte aufgelistet, wobei jeweils in der Waagerechten die gemessene Größe eingetragen wurde, die Abkürzungen sind am Schluß der Arbeit erläutert.
In der Senkrechten wurden die verschiedenen Messungen aufgelistet.
Wie man sieht, wurden teilweise nicht alle Spalten ausgefüllt. Dies ist einmal bei Winkeln der Fall, deren Vermessung aufgegeben wurde, als sich bei den ersten Objekten herausstellte, daß die Winkel schlecht meßbar sind.
Entsprechend wurden die Winkelmeßwerte teilweise, wenn es zuwenig Werte waren, nicht ausgewertet.
Falls andere Werte, zum Beispiel zum Tuberculum minus nicht eingetragen wurden, so handelt es sich um Humeri, bei denen dieses durch die Präparation zerstört war, oder es war auf der Photographie nicht vermeßbar.
Wichtig: Da zuerst wenige Größen ausgemessen wurden (H,hT), um die Methode zu überprüfen, sind die in einer waagerechten Reihe stehenden Werte nicht unbedingt bei einem Meßvorgang ermittelt worden!

TABELLE Nr.4 Meßwerte Embryo Nr.1

SSL 110 mm
Alter 110 Tage
Humeruslänge 33,5 mm

Messung Nr.	H	hT	BT	MT	hT1	hT2	ht	Bt	Mt	r	a	b	g1	g2
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	°	°	°	°
1	6,9	3,1	5,1	0,75	2,2	0,9	1,0	1,4	2,2	3				
2	7,0	2,8	5,3	1,2	1,75	1,0	1,1	1,7	2,1	2,9				
3	6,9	3,15	5,2	0,8	2,2	0,95	1,0	1,5	2,3	2,95				
4	7,1	3,4	5,3	0,7	2,3	1,1	1,0	1,2	2,2	3,1				
5	6,7	3,0	5,3	0,75	2,25	0,7	0,9	1,1	2,2	2,9				
6	6,9	3,1	5,2	0,85	2,2	0,9	1,0	1,15	2,2	3,1				
7	6,8	3,1	4,8	0,6	2,4	0,8	1,2	1,2	2,2	3,0				
8										3,0				
9										3,0				
10										3,0				
$\bar{x}$	6,9	3,09	5,18	0,82	2,18	0,91	1,03	1,31	2,2	2,99				
s	0,14	0,2	0,19	0,21	0,23	0,14	0,10	0,24	0,06	0,07				

TABELLE Nr.4 Meßwerte Embryo Nr.2

SSL 113 mm
Alter 114 Tage
Humeruslänge 30,2 mm

Messung Nr.	H (mm)	hT (mm)	BT (mm)	MT (mm)	hT1 (mm)	hT2 (mm)	ht (mm)	Bt (mm)	Mt (mm)	r (mm)	a °	b °	g1 °	g2 °
1	6,34	2,6	4,35	1,35	1,65	0,7	0,8	1,9	2,5	3	20	24	57	58
2	6,6	2,3	4,2	1,45	1,3	1,2	1,0	1,8	2,3	3	15	21	55	53
3	6,8	2,25	4,2	1,0	1,95	0,9	0,9	1,7	2,4	3	19	25	54,5	59
4	6,75	2,4	4,2	1,4	1,6	0,7	1,1	1,1	2,2	2,8	20	28	52	57
5	6,6	2,3	4,3	1,5	1,2	1,15	1,0	1,6	2,3	3	16,5	31	55	51
6	6,85	2,1	4,5	1,3	1,7	0,9	1,0	1,5	2,4	3	20	21	56	51
7	6,83	2,3	4,6	1,5	1,3	1,2	1,1		2,3	3	23	28	50	59
8	6,65	2,5	4,5	1,4	1,6	0,9	1,0	1,9	2,5	3	18	23	53	55
9	6,85	2,8	4,6	1,5	1,4	0,85	1,0	1,2	2,2	2,8				
10	6,5	2,4	4,1	1,5	1,5	0,8	0,8	1,7	2,5	3				
$\bar{x}$	6,71	2,37	4,34	1,39	1,51	0,96	0,99	1,56	2,34	2,96	18,79	25,29	53,64	55
s	0,13	0,2	0,21	0,16	0,24	0,18	0,09	0,28	0,11	0,09	2,61	3,89	2,10	3,46

TABELLE Nr.4 Meßwerte Embryo Nr.3

SSL 128 mm
Alter 121 Tage
Humeruslänge 33,4 mm

Messung Nr.	H (mm)	hT (mm)	BT (mm)	MT (mm)	hT1 (mm)	hT2 (mm)	ht (mm)	Bt (mm)	Mt (mm)	r (mm)	a °	b °	g1 °	g2 °
1	6,9	3,0	4,9	1,1	1,8	1,0	0,9	1,6	2,6	3	26,5	31	50,5	59
2	7,3	2,85	5,2	1,1	1,9	0,8	1,0	1,2	2,35	3	23	27	57	57
3	6,85	2,7	5,2	1,35	1,7	1,0	0,7	1,4	2,7	3	28	33	45	62
4	6,85	2,8	5,7	1,35	1,6	1,4	0,8	1,1	2,8	3	30	34	45	63
5	6,95	2,7	4,9	1,1	1,9	1,0	1,0	1,85	2,45	3	31	30	51	59
6	7,3	3,0	5,0	1,4	1,6	1,0	1,2	0,9	2,45	3	32	27	50	55
7	7,0	3,05	5,5	1,3	1,7	1,0	1,0	1,4	2,3	3	27	30	46	58
8	7,0	2,85	5,4	1,25	1,8	1,0	0,9	1,2	2,5	3	23	28	52	59
9	6,95	3,1	5,4	1,45	1,5	1,0	1,0	1,3	2,5	3				
10	6,95	3,1	5,5	1,2	1,8	1,0	0,9	1,5	2,4	3				
$\bar{x}$	7,02	2,91	5,31	1,28	1,72	1,02	0,94	1,32	2,49	3	27,71	28,79	35,67	41,50
s	0,17	0,16	0,26	0,13	0,14	0,16	0,14	0,27	0,16	0	3,64	3,31	10,60	13,81

TABELLE Nr.4 Meßwerte Embryo Nr.6

SSL 198 mm
Alter 155 Tage
Humeruslänge 48,7 mm

Messung Nr.	H (mm)	hT (mm)	BT (mm)	MT (mm)	hT1 (mm)	hT2 (mm)	ht (mm)	Bt (mm)	Mt (mm)	r (mm)	a °	b °	g1 °	g2 °
1	10,5	4,6	6,5	1,7	2,9	1,6	1,8	2,2	3,4	4,4	20,5	31	45	54
2	10,6	4,7	6,9	1,8	2,7	1,7	1,5	2,0	3,7	4,4	17	29	48	51
3	10,6	4,4	6,5	1,7	2,8	1,7	1,8	1,8	3,4	4,5	28	36	44	54
4	10,4	4,5	7,0	1,6	3,0	1,7	1,6	2,2	3,8	5,0	23	28	50	51
5	10,4	4,5	6,8	1,5	3,0	1,8	1,8	2,0	3,4	4,4	17	30	48	49
6	10,35	4,5	6,7	1,7	2,85	1,6	1,0	1,2	3,9	4,8	17	31	48	50
7	10,6	4,7	6,8	1,6	2,9	1,6	1,2	2,0	3,8	5,0	23	35	40	56
8	10,6	4,5	7,0	1,6	2,9	1,8	1,8	2,0	3,6	4,6	20	34	43	56
9	10,4	4,5	6,8	2,0	2,6	1,8	2,0	2,2	3,4	4,6	19	32	44	51
10	10,6	4,7	6,5	2,05	2,5	2,0	2,0	1,3	3,8	4,8	23	33	43	54
$\bar{x}$	10,5	4,56	6,78	1,73	2,81	1,74	1,63	1,86	3,64	4,68	20,78	32,0	45,33	52,44
s	0,11	0,11	0,19	0,19	0,17	0,12	0,35	0,36	0,20	0,23	3,77	2,74	3,28	2,60

TABELLE Nr.4 Meßwerte Embryo Nr.7

SSL 140 mm
Alter 128 Tage
Humeruslänge 36,1 mm

Messung Nr.	H	hT	BT	MT	hT1	hT2	ht	Bt	Mt	r	a	b	g1	g2
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	°	°	°	°
1	7,8	2,8	4,9	1,5	2,0	0,8	1,2	1,1	2,2	3,5				
2	7,75	2,55	5,1	1,7	1,75	0,8	1,5	3	2,4	3,4				
3	7,7	2,55	4,9	1,7	1,8	0,8	1,5	2,35	2,4	3,5				
4	7,7	2,6	5,2	1,6	1,9	0,7	1,5	2,4	2,5	3,5				
5	8,1	2,8	5,3	2,0	1,5	1,3	1,2	2,2	2,7	3,5				
6	7,7	2,6	5,0	1,6	2,0	0,7	1,3	2,0	2,7	3,5				
7	7,8	2,7	5,2	1,6	1,9	0,8	1,0	1,0	2,7	3,5				
8	7,9	2,8	5,4	1,7	1,8	1,0	1,0	1,2		3,5				
9	7,8	2,9	5,1	1,6	1,9	1,0	1,0	1,1		3,5				
10	7,9	2,8	5,5	1,7	1,8	1,0	1,1	1,1		3,5				
$\bar{x}$	7,8	2,7	5,2	1,68	1,8	0,9	1,0	1,82		3,49				
s	0,13	0,12	0,16	0,12	0,14	0,19	0,0	0,73		0,03				

TABELLE Nr.4 Meßwerte Embryo Nr.9

SSL 176 mm
Alter 146 Tage
Humeruslänge 44 mm

Messung Nr.	H (mm)	hT (mm)	BT (mm)	MT (mm)	hT1 (mm)	hT2 (mm)	ht (mm)	Bt (mm)	Mt (mm)	r (mm)	a °	b °	g1 °	g2 °
1	9,5	3,6	5,5	2,0	2,1	1,5	1,0	2,0	3,3	4	11	18,5	59	58
2	9,45	3,3	5,5	2,1	1,3	1,9	1,3	2,2	3,6	4	10	16	53	52
3	8,95	2,75	5,3	2,1	1,9	0,7	1,7	2,4	2,1	4	14	20	53	52
4	9,5	3,15	6,3	2,1	1,9	1,5	1,1	1,8	3,5	4	12	17	58	56
5	9,2	3	6,2	2,4	1,6	1,6	1,2	1,6	3,4	4	14	18	57	56
6	9,4	3,4	5,7	2,15	1,9	1,4	1,2	1,9	3,2	4	29	31	51	66
7	9,4	3,15	5,8	2,6	1,4	1,6	1,4	1,8	3,4	4	25	25	50	52
8	9,35	3,3	5,8	2,3	1,7	1,4	1,2	1,9	3,2	3,8	20	21	52	46
9	9,6	3,3	5,8	2,4	1,6	1,7	1,4	2,1	3,0	4,1	17	19	51	44
10	9,5	3,3	5,8	2,4	1,6	1,7	1,4	2,1	3,4	4,0	19	30	59	46
$\bar{x}$	9,37	3,21	5,79	2,26	1,66	1,52	1,31	1,98	3,2	3,99	17,78	21,9	53,8	52,2
s	0,19	0,23	0,31	0,18	0,22	0,36	0,18	0,24	0,45	0,08	6,2	5,5	3,3	6,7

TABELLE Nr.4 Meßwerte Embryo Nr.10

SSL 121 mm
Alter ca. 118 Tage
Humeruslänge 33,2 mm

Messung Nr.	H	hT	BT	MT	hT1	hT2	ht	Bt	Mt	r	a	b	g1	g2
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	°	°	°	°
1	6,9	2,9	4,7	1,2	1,5	1,4	1,0	1,6	2,3	2,8	25	45	43	65
2	6,75	2,6	4,5	1,2	1,8	0,7	1,1	2,0	2,1	3,0	26	35	45	67
3	7,0	2,9	4,5	1,2	1,45	1,4	1,0	2,0	2,4	2,8	20	38	45	75
4	7,0	2,9	4,7	1,2	1,8	1,05	0,9	1,8	2,45	2,8	20	35	47	66
5	7,2	2,9	4,7	1,15	1,85	1,05	1,05	2,0	2,2	2,9				
6	7,2	2,9	4,6	1,2	1,55	1,3	1,0	1,75	2,3	2,8				
7	6,8	2,8	4,8	1,3	1,75	1,1	1,0	1,7	2,4	2,95				
8	7,1	3,1	4,5	1,25	1,5	1,5	1,0	1,8	2,5	2,85				
9	7,0	3,0	4,7	1,3	1,5	1,4	1,1	1,8	2,3	2,9				
10	7,1	3,15	4,5	0,9	2,05	1,1	1,1	1,8	2,2	2,9				
$\bar{x}$	7,02	2,92	4,61	1,19	1,69	1,18	1,03	1,85	2,32	2,88				
s	0,16	0,16	0,12	0,12	0,20	0,25	0,07	0,12	0,13	0,07				

TABELLE Nr.4 Meßwerte Embryo Nr.11

SSL 75 mm
Alter 82 - 83 Tage
Humeruslänge 18,7 mm

Messung Nr.	H (mm)	hT (mm)	BT (mm)	MT (mm)	hT1 (mm)	hT2 (mm)	ht (mm)	Bt (mm)	Mt (mm)	r (mm)	a °	b °	g1 °	g2 °
1	4,18	1,7	2,5	0,45	1,3	0,5	0,5	1,3	1,35	1,75	18	29	67,5	63
2	3,85	1,5	2,7	0,8	1,0	0,5	0,6	1,0	1,3	1,75	16	27	61	61
3	4,2	1,5	2,6	0,6	1,2	0,5	0,8	0,9	1,2	1,75	21	29	39	63
4	4,05	1,5	2,6	0,8	0,9	0,7	0,6	0,9	1,35	1,7	14	24	48	62
5	3,9	1,7	2,4	0,65	1,1	0,4	0,7	0,9	1,2	1,75	16	27	51	48
6	4,0	1,7	2,7	0,6	1,1	0,5	0,5	1,0	1,35	1,75	19	26	65	53,5
7	4,0	1,6	2,7	0,6	1,1	0,4	0,5	1,15	1,4	1,7	21	32	43	60
8	4,05	1,8	2,6	0,4	1,4	0,4	0,5	0,8	1,35	1,7	15	23	43	51
9	3,95	1,5	2,7	0,4	1,35	0,5	0,6	0,8	1,3	1,7	14	24	55	56
10	3,9	1,55	2,6	0,5	1,2	0,5	0,6	0,7	1,3	1,7				
$\bar{x}$	3,99	1,59	2,62	0,59	1,15	0,48	0,6	0,91	1,31	1,72	17	21,75	50,83	54,15
s	0,11	0,11	0,1	0,15	0,16	0,09	0,1	0,13	0,07	0,02	2,93	5,67	9,20	7,95

Tabelle Nr.4 Meßwerte Embryo Nr.13

SSL 94 mm
Alter 90 Tage
Humeruslänge 21,8 mm

Messung Nr.	H	hT	BT	MT	hT1	hT2	ht	Bt	Mt	r	a	b	g1	g2
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	°	°	°	°
1	4,75	2,4	3,0	0,7	1,2	0,8	0,9	1,4	1,5	2	9	17	55	48
2	4,75	2,1	3,0	0,5	1,5	0,6	0,9	1,3	1,4	1,9	20	25	45	60
3	4,55	2,15	2,9	0,9	1,1	0,8	1,0	1,5	1,4	1,9	18	29	50	52
4	4,65	2,1	3,3	0,7	1,3	0,9	0,7	1,1	1,6	2,0	15	29	53	56
5	4,9	2,2	3,1	0,6	1,35	0,85	0,9	1,2	1,4	2,0	19	32	45	57
6	4,7	1,8	3,1	0,7	1,3	0,9	0,8	1,2	1,7	2,0	9	21	53	52
7	4,85	2,05	3,1	0,8	1,1	0,95	0,9	1,2	1,5	2,2				
8	4,8	2,1	3,2	0,7	1,3	0,9	0,8	1,2	1,6	2,1				
9	4,8	2,2	3,1	0,6	1,4	0,8	0,9	1,5	1,6	2,0				
10	4,8	2,2	3,1	0,7	1,3	0,85	0,8	1,2	1,6	2,1				
$\bar{x}$	4,76	2,09	3,1	0,69	1,29	0,84	0,86	1,31	1,53	2,02				
s	0,11	0,12	0,11	0,12	0,13	0,10	0,09	0,18	0,11	0,10				

TABELLE Nr.4 Meßwerte Embryo Nr.17

SSL 60 mm
Alter 76 Tage
Humeruslänge 15,1 mm

Messung Nr.	H (mm)	hT (mm)	BT (mm)	MT (mm)	hT1 (mm)	hT2 (mm)	ht (mm)	Bt (mm)	Mt (mm)	r (mm)	a °	b °	g1 °	g2 °
1	3,1	1,3	2,2	0,6	0,65	0,65	0,3	0,2	1,25	1,3	31	36	50	60
2	3,1	1,4	1,9	0,5	0,7	0,7	0,6	0,4	0,9	1,3	22	34	55	49
3	2,8	1,25	1,8	0,5	0,5	0,75	0,4	0,2	0,85	1,0	30	38	55	57
4	3,0	1,3	1,9	0,5	0,6	0,7	/	/	/	1,1	25,5	34,5	49	49
5	3,1	1,25	1,95	0,65	0,6	0,65	0,5	0,3	1,0	1,3	27	40	61	49
6	3,1	1,25	2,2	0,7	0,65	0,6	0,5	0,3	1,0	1,2	23	37	51	48
7	3,05	1,25	1,9	0,6	0,6	0,7	0,3	0,2	1,15	1,2	24	39	53	54
8	3,1	1,3	2,15	0,5	0,75	0,6	0,3	0,2	1,0	1,2	26	36	41	57
9	3,05	1,3	2,2	0,6	0,6	0,6	0,3	0,3	1,1	1,2	22	/	53	52
10	3,1	1,2	2,2	0,4	0,5	0,9	0,3	0,2	1,1	1,2	/	/	/	/
$\bar{x}$	3,04	1,28	2,02	0,55	0,61	0,68	0,4	0,26	1,0	1,19	24,94	36,93	52,25	51,88
s	0,1	0,06	0,16	0,09	0,08	0,09	0,11	0,07	0,1	0,09	2,76	2,24	5,75	3,72

TABELLE Nr.4 Meßwerte Embryo Nr. 19

SSL 65 mm
Alter 78 - 79 Tage
Humeruslänge 13,7 mm

Messung Nr.	H	hT	BT	MT	hT1	hT2	ht	Bt	Mt	r	a	b	g1	g2
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	°	°	°	°
1	2,7	1,3	1,7	0,3	0,7	0,6	0,6	0,7	0,8	1,0				
2	3,25	1,8	2,3	0,2	1,0	0,7	0,8	0,5		1,3				
3	3,2	1,7	1,9	0,2	1,25	0,7	0,8	0,8		1,3				
4	3,2	1,7	2,1	0,25	1,0	0,7	0,8	0,7		1,3				
5	3,0	1,7	1,4	0,1	1,2	0,5	0,7	0,8	0,9	1,3				
6	3,2	1,5	1,7	0,5	0,75	0,8	0,7	1,2	1,4	1,3				
7	3,2	1,7	2,2	0,1	0,9	0,7	0,7	0,9	0,9	1,3				
8	3,2	1,7	1,8	0,3	0,9	0,8	0,9	0,8	0,7	1,3				
9	3,3	1,7	2,0	0,3	0,9	0,8	1,0	0,9	0,7	1,3				
10	3,2	1,6	2,1	0,4	0,9	0,8	1,0	1,0	0,7	1,3				
$\bar{x}$	3,14	1,68	2	0,26	0,97	0,72	0,83	0,84	0,88	1,3				
s	0,18	0,08	0,19	0,13	0,15	0,09	0,11	0,19	0,27	0,0				

TABELLE Nr.4 Meßwerte Embryo Nr.21

SSL 46 mm
Alter 68 - 69 Tage
Humeruslänge 9,8 mm

Messung Nr.	H (mm)	hT (mm)	BT (mm)	MT (mm)	hT1 (mm)	hT2 (mm)	ht (mm)	Bt (mm)	Mt (mm)	r (mm)	a °	b °	g1 °	g2 °
1	2,2	1	1,35	0,3	0,6	0,5	0,3	0,4	0,8	0,7				
2	2,2	1,1	1,5	0,3	0,8	0,2		0,6	0,7	0,8				
3	2,1	1,1	1,5	0,2	0,65	0,5		0,5	0,9	0,9				
4	2,2	0,85	1,5	0,3	0,75	0,2		0,6	0,8	0,9				
5	2,1	1,0	1,3	0,55	0,8	0,2		0,5	0,7	0,9				
6	2,2	1,1	1,4	0,2	0,7	0,4		0,5	0,8	0,9				
7	2,3	1,1	1,4	0,2	0,6	0,5	0,3	0,4	0,8	0,8				
8	2,2	1,0	1,7	0,4	0,8	0,2	0,2	0,6	0,8	1,0				
9	2,3	1,0	1,6	0,2	0,8	0,2	0,2	0,7	0,7	1,ß				
10	2,3	0,9	1,6	0,2	0,7	0,2	0,3	0,7	0,7	1,0				
$\bar{x}$	2,21	1,02	1,48	0,28	0,73	0,29	0,25	0,56	0,78	0,91				
s	0,08	0,09	0,12	0,12	0,08	0,14	0,05	0,10	0,07	0,07				

TABELLE Nr.4 Meßwerte Embryo Nr.22

SSL 49 mm
Alter 70 Tage
Humeruslänge 9,5 mm

Messung Nr.	H	hT	BT	MT	hT1	hT2	ht	Bt	Mt	r	a	b	g1	g2
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	°	°	°	°
1	2,05	0,95	1,4	0,3	0,48	0,45	0,2	0,45	0,75	0,8	28	37	52	63
2	2,0	1,05	1,4	0,2	0,6	0,4	0,2	0,4	0,65	0,8	31	39	46	61
3	2	1	1,4	0,25	0,5	0,5	0,2	0,45	0,65	0,8	28	38	65	63
4	2,1	1	1,55	0,3	0,4	0,5	0,2		0,7	0,8	35		44	58
5	2,15	1	1,3	0,4	0,5	0,35	0,2	0,6	0,6	0,9				
6	2,15	0,8	1,5	0,4	0,4	0,5	0,3	0,3	0,5	0,8				
7	2,1	0,95	1,65	0,4	0,4	0,6	0,25	0,4	0,7	0,8				
8	2,25	1	1,7	0,25	0,7	0,4	0,3	0,3	0,7	0,9				
9	2,15	1,1	1,6	0,3	0,6	0,4	0,3	0,3	0,6	0,9				
10	2,25	1,05	1,5	0,3	0,55	0,5	0,3	0,4	0,6	0,9				
$\bar{x}$	2,13	0,99	1,51	0,31	0,51	0,46	0,24	0,39	0,65	0,84				
s	0,1	0,08	0,12	0,07	0,10	0,07	0,04	0,1	0,075	0,05				

TABELLE Nr.4 Meßwerte Embryo Nr.23

SSL 40 mm
Alter 65 Tage
Humeruslänge 8,6 mm

Messung Nr.	H (mm)	hT (mm)	BT (mm)	MT (mm)	hT1 (mm)	hT2 (mm)	ht (mm)	Bt (mm)	Mt (mm)	r (mm)	a °	b °	g1 °	g2 °
1	1,85	1,28	1,0	0,0	0,8	0,5	0,4	0,5	0,55	0,7	22	31	56	69
2	1,75	1,1	1,0	0,05	0,6	0,4	0,3	0,45	0,5	0,8	17	24	47	45
3	1,7	1,05	1,1	0,1	0,65	0,3	0,4	0,45	0,6	0,7	17	32	45	56
4	1,95	1,05	1,3	0,15	0,6	0,4	0,3	0,6	0,6	0,8	20	27	55	67
5	1,85	1,0	1,3	0,1	0,7	0,35	0,3	0,7	0,65	0,7	25	34	44	67
6	1,9	1,0	1,9	0,0	0,75	0,3	0,2	0,5	0,7	0,74				
7	1,85	0,9	1,5	0,2	0,6	0,45	0,2	0,6	0,75	0,7				
8	1,9	1,0	1,5	0,2	0,56	0,4	0,2	0,5	0,8	0,8				
9	1,95	1,1	1,1	0,0	0,7	0,4	0,5	0,4	0,4	0,65				
10	2,0	0,9	1,0	0,0	0,7	0,4	0,5	0,4	o,4	0,8				
$\bar{x}$	1,87	1,01	1,23	0,1	0,65	0,39	0,32	0,51	0,6	0,74				
s	0,1	0,07	0,19	0,08	0,07	0,07	0,12	0,10	0,14	0,06				

TABELLE Nr.4 Meßwerte Embryo Nr.28

SSL 200 mm
Alter ca. 160 Tage
Humeruslänge 52 mm

Messung Nr.	H (mm)	hT (mm)	BT (mm)	MT (mm)	hT1 (mm)	hT2 (mm)	ht (mm)	Bt (mm)	Mt (mm)	r	a °	b °	g1 °	g2 °
1	10,6	3,6	6,8	2,2	1,9	1,7				4,4				
2	10,3	3,6	6,5	2,5	2,3	1,3				4,4				
3	10,4	3,7	6,4	2,3	2,2	14				4,5				
4	10,4	3,4	6,4	2,5	2,0	1,3				4,5				
5	10,9	3,6	7,0	2,8	1,7	2,0				4,5				
6	10,7	3,4	7,0	2,7	1,85	1,55				4,5				
7	10,2	3,5	6,9	2,2	2,3	1,2				4,5				
8	10,6	3,6	6,8	2,3	2,2	1,5				4,55				
9	10,5	3,7	6,3	2,3	2,2	1,1				4,6				
10	10,5	3,4	7,0	2,8	1,6	1,8				4,6				
$\bar{x}$	10,5	3,54	6,79	2,49	2,04	1,46				4,52				
s	0,21	0,12	0,23	0,23	0,26	0,29				0,06				

TABELLE Nr.4 Meßwerte Embryo Nr.31

SSL 227 mm
Alter ca. 172 Tage
Humeruslänge 54,3 mm

Messung Nr.	H (mm)	hT (mm)	BT (mm)	MT (mm)	hT1 (mm)	hT2 (mm)	ht (mm)	Bt (mm)	Mt (mm)	r (mm)	a °	b °	g1 °	g2 °
1	11,8	4,4	7,4	2,5	2,6	1,6	1,8	3,7	3,9	5,0	17	18	50	55
2	12,1	4,7	6,9	2,5	2,2	1,8	1,9	3,5	3,9	4,9	17,5	23	47	61
3	11,2	4,2	7,0	2,4	2,6	1,8	2,4	3,2	3,4	5,0	17,5	22	51	59
4	11,4	4,5	7,6	2,6	2,2	2,2	2,0	2,8	4,0	5,0	13	21	51	59
5	11,45	4,7	7,0	2,3	2,8	1,6	2,4	2,4	3,4	5,0	18	16,5	56	55,5
6	11,8	4,2	7,0	2,5	2,6	2,4	2,4	3,6	3,8	4,8	13	28	47	61
7	11,8	4,4	6,6	2,8	1,6	2,4	1,8	3,0	4,4	4,6	17	18	60	55
8	11,8	4,4	6,0	2,4	2,7	1,8	2,8	3,0	3,2	5,0	23	20	57	54
9	11,8	4,5	6,5	2,5	2,5	2,1	2,2	3,5	3,8	5,0	20	26	54	62
10	11,8	4,2	7,4	2,6	2,2	2,2	1,8	2,8	4,0	4,9	19	22	54	51
$\bar{x}$	11,68	4,42	6,76	2,51	2,38	2,03	2,19	3,09	3,77	4,91	17,56	21,83	53,0	57,5
s	0,28	0,2	0,40	0,15	0,37	0,29	0,34	0,40	0,37	0,15	3,16	3,61	4,42	3,77

TABELLE Nr.4 Meßwerte Embryo Nr.32

SSL 237 mm
Alter ca. 108 Tage
Humeruslänge 62,4 mm

Messung Nr.	H (mm)	hT (mm)	BT (mm)	Mt (mm)	hT1 (mm)	hT2 (mm)	ht (mm)	Bt (mm)	Mt (mm)	r (mm)	a °	b °	g1 °	g2 °
1	13,4	4,0	8,9	4	1,5	2,6	2,4	2,2	4,2	5,5	20,5	27,5	48	57
2	12,9	3,9	8,6	4,1	1,0	3,0	2,0	2,5	4,2	4,8	19	24,5	47	56
3	13,2	4,1	8,6	3,8	1,7	2,4	2,2	2,8	4,1	5,2	20	32	40	52
4	13,1	4,0	9,0	3,8	1,7	2,4	1,6	3,4	4,6	5,4	21	28	42	55
5	13,5	4,0	8,2	3,8	1,6	2,0	2,2	3,0	3,8	5,4	27	34	40	65
6	12,8	3,9	9,0	3,8	1,6	2,6	2,2	2,8	4,4	5,4	26	34	39	60
7	13,3	4,0	9,0	4,0	1,4	2,6	2,2	2,8	4,2	5,4	27	27	44	56
8	13,5	4,3	8,8	3,9	1,4	2,6	2,2	2,8	4,2	5,4	27	35	39	59
9	13,8	4,0	9,0	4,2	1,2	3,0	2,6	2,8	4,0	5,4	22	48	23	57
10	13,3	3,9	9,0	4,1	1,7	2,4	2,1	3,0	4,2	5,6	25	33	40	58
$\bar{x}$	13,27	4,01	8,8	3,9	1,47	2,55	2,14	2,88	4,19	5,33	23,78	30,61	41,56	57,56
s	0,31	0,13	0,2	0,15	0,24	0,31	0,26	0,24	0,23	0,22	3,27	3,77	2,70	3,64

TABELLE Nr.4 Meßwerte Embryo Nr.33

SSL 212 mm
Alter 162 Tage
Humeruslänge 64,2 mm

Messung Nr.	H	hT	BT	MT	hT1	hT2	ht	Bt	Mt	r	a	b	g1	g2
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	°	°	°	°
1	13,6	5,0	10,2	3,6	3,4	1,8	1,8	3,8	5,4	7	22	27,5	52	37,5
2	15,4	4,7	9,4	4,0	2,2	2,2	2,2	3,8	4,8	6,4	25	31	60	51
3	14,9	4,6	9,4	4,4	1,6	3,0	2,2	3,8	5,0	6,0	16	25	61	54
4	14,8	4,4	10,0	4,6	1,4	3,2	2,1	4,2	5,4	6,0	22	29	58	59
5	15,3	4,6	10,0	4,4	1,9	2,6	1,8	4,6	5,4	6,4	16	24	59	52
6	15,7	5,2	9,6	4,5	2,0	2,6	2,2	4,8	5,2	6,6	18	27	58	53
7	15,1	4,3	9,6	4,6	1,4	3,2	1,8	3,2	5,4	6,2	21	31	55	57
8	15,6	4,6	9,2	5,0	1,0	3,2	2,0	4,0	5,4	6,2	20	41	51	66
9	15,0	4,6	9,9	4,1	2,2	2,4	2,0	4,5	5,0	6,4	19	28	57	58
10	15,1	4,6	9,6	4,2	2,1	2,6	1,8	3,8	5,4	6,4				
$\bar{x}$	15,2	4,62	9,63	4,42	1,76	2,78	2,01	4,08	5,22	6,29	19,63	29,5	57,38	56,81
s	0,3	0,25	0,28	0,3	0,42	0,38	0,18	0,5	0,23	0,2	3,07	5,29	3,16	4,02

TABELLE Nr.4 Meßwerte Embryo Nr.34

SSL 262 mm
Alter 202 Tage
Humeruslänge 63,4 mm

Messung Nr.	H (mm)	hT (mm)	BT (mm)	MT (mm)	hT1 (mm)	hT2 (mm)	ht (mm)	Bt (mm)	Mt (mm)	r (mm)	a °	b °	g1 °	g2 °
1	13,6	3,3	9	4,4	1,6	2,2	1,4	2,2	5,6	6	14	20	50	50
2	14,1	4,0	8	3,1	2,4	1,65	1,8	3,2	4,8	6	25	28	38	52
3	13,7	4,05	9,6	4,2	1,8	2,2	2,0	2,4	5,1	6	15	20	52	55
4	14,2	4,0	9,4	4,4	1,6	2,4	2,0	2,2	5,1	6,4	18	23	40	46
5	14,2	3,8	10	4,7	1,6	2,6	1,7	3,6	6,0	6,1	19,5	23	45	47
6	14,3	4,0	9,8	4,4	1,4	2,2	2,0	2,4	5,0	6,0	22	23	55	49
7	14,0	3,8	10,4	4,6	1,4	2,8	2,2	2,7	5,4	6,0	24	26	46	52
8	13,9	4,0	9,8	4,8	1,2	2,9	1,8	2,3	5,6	5,8	22	25	50	52
9	14,6	4,2	9,8	4,4	1,4	2,6	1,5	1,6	5,4	6,0	27	27	49	51
10	14,4	4,0	9,8	4,6	1,4	2,4	2,0	3,6	5,1	6,0	24	27	40	51
$\bar{x}$	14,2	3,98	9,62	4,36	1,58	2,42	1,89	2,67	5,28	6,03	21,83	24,67	46,11	50,5
s	0,3	0,12	0,67	0,51	0,35	0,38	0,21	0,68	0,36	0,16	3,76	2,60	5,90	2,78

6.3. MESSBARKEIT DER EINZELNEN STRECKEN

Für die einzelnen Strecken ergibt sich folgendes:

1. Die **Strecke H** (Gesamthöhe) läßt sich gut messen. Die Standardabweichung s beträgt bei den kleinen Humeri ca. 5% = 0,1 mm, bei den größeren Humeri ca. 3% = 0,3 mm.

2. Die **Strecke hT** (Höhe des Tuberculum majus) ist gut bestimmbar, bei dem größeren Humeri beträgt die Standardabweichung 3 - 5%, das entspricht 0,1 - 0,2 mm. Bei den kleinsten Humeri (Nr.21,22 und 23) beträgt sie bis 10%, das entspricht 0,08 mm.

3. Die **Strecke BT** (Breite des Tuberculum majus) ist recht gut bestimmbar, die Standardabweichung beträgt bei den größeren Humeri 3 - 7%, bei den kleinsten Humeri (Nr.21,22 und 23) bis 10%.

4. Die **Strecke MT** (Abstand vom Unterrand des Tuberculum majus) ist wegen ihrer Kleinheit schwer zu bestimmen, die Standardabweichung beträgt bei den kleinen Humeri 20 - 50% (bei Nr.23 80%), bei den großen Humeri 7 - 17%. Allerdings entspricht dies einer realen Abweichung von nur 0,1 mm. Sie wird natürlich durch den Meßfehler bei der Bestimmung des Mittelpunktes M beeinflußt.

Durch die Größenunterschiede zwischen den Humeri läßt sich aber doch eine signifikante Änderung von MT aufzeigen.

5. Die **Strecken hT1** und **hT2** sind nur bedingt meßbar, wegen ihrer Kleinheit zeigen sie Abweichungen von 10 - 25%. Ihre Bestimmung wird ebenfalls durch Meßfehler bei der Bestimmung des Mittelpunktes M, bzw. des Kreises um die Gelenkkugel beeinflußt.

6. Die **Strecke hT** (Höhe des Tuberculum minus) ist schwer zu bestimmen, da daß Tuberculum minus schräg am Humerus liegt. Die Standardabweichung beträgt bei den größeren Humeri ca. 10%, bei den kleineren bis zu 30%.

7. Die **Strecke Bt** (Breite des Tuberculum minus) ist schlecht bestimmbar, da die Ränder des Tuberculum minus schräg sind und damit ein fester Meßpunkt fehlt. Die Standardabweichung beträgt ca. 20%.

8. Die **Strecke Mt** (Abstand des Tuberculum minus vom Mittelpunkt) ist einigermaßen gut meßbar, die Standardabweichung beträgt ca. 5 - 10%, bei Humerus Nr.17 und und 21 allerdings bis 32%.

9. Die **Winkel** sind mit Standardabweichungen bis zu 16% vom Mittelwert nur sehr ungenau bestimmbar. Schon kleine Änderungen am Pol und an den Bezugspunkten bewirken große Winkelschwankungen.

6.4. ERGEBNISSE DER VERMESSUNG DER EMBRYONALEN HUMERI

Die mit der vorgeschlagenen Methode am besten zu bestimmenden Größen am embryonalen Humerus sind:

1. Die Gesamthöhe des Humeruskopfes H.
   Die Standardabweichung beträgt 3 - 5% vom Mittelwert.

2. Der Radius der Gelenkhalbkugel r.
   Die Standardabweichung beträgt 0 - 5%, bei den kleinsten Humeri bis 10% vom Mittelwert.

3. Die Höhe des Tuberculum majus hT.
   Die Standardabweichung beträgt 3 - 5%, bei den kleinsten Humeri bis 10% vom Mittelwert.

4. Die Breite des Tuberculum majus BT.
   Die Standardabweichung beträgt 3 - 7%, bei den kleinsten Humeri bis 10% vom Mittelwert.

Diese Größen können am besten für Schlußfolgerungen verwendet werden. Zur Verdeutlichung der im Folgenden beschriebenen Befunde siehe **Abb.19** und **20**, sowie die **Abbildungen Nr. 21** und **22**, in denen die jeweiligen Werte gegen die für sie relevante Bezugsgröße, die Humeruslänge, aufgetragen wurden. In der **Tabelle Nr.5** wurden die Verhältniszahlen aufgeführt, damit die graphischen Ergebnisse auch arithmetisch überprüfbar sind.

3. Die Werte zur Höhe des Tuberculum majus hT wachsen nicht linear, sie liegen stärker gestreut. In der Auftragung können sie ungefähr durch eine Gerade verbunden werden, die mit einem Steigungsmaß von 0,66 ansteigt. (Abb.19) Diese stärkere Streuung drückt sich auch in dem Verhältnis zur Humeruslänge aus. Dieses beträgt bei den kleinen Humeri im Mittel 9,6 (Objekt Nr.21 und 22) bei den großen Humeri dagegen 13,9 bis 15,93 (Objekt Nr.33 und 34) Dies stellt einen signifikanten Unterschied dar, da der Abstand größer als die dreifache Standardabweichung ist.
   Selbst bei Hinzurechnung eines Korrekturfaktors von 10%, der methodische Fehler ausgleichen soll (siehe Methodendiskussion) beträgt das Verhältnis bei den großen Humeri noch 13.
   Daraus folgt für die vermessenen Humeri:

   Die Höhe des Tuberculum majus nimmt langsamer zu, als die Humeruslänge. Das Tuberculum majus wird also relativ niedriger.

4. Die Werte zur Breite des Tuberculum majus BT wachsen linear, in der graphischen Auftragung bilden sie eine Gerade, die mit einem Steigungsmaß von 1,5 ansteigt. (Abb.22) Das Verhältnis zwischen Humeruslänge und BT liegt zwischen 6,67 und 7,0. Die einzelnen Humeri unterscheiden sich nicht signifikant voneinander, die Abweichung der Werte ist geringer als die einfache Standardabweichung.

FÜR DIE FORMENTWICKLUNG DES HUMERUSKOPFES DER HIER VERMESSENEN HUMERI, DIE EINE HUMERUSLÄNGE VON 8,6 mm BIS 64,2 mm HABEN, ERGEBEN SICH FOLGENDE SCHLUSSFOLGERUNGEN:

1. Die Werte zur Gesamthöhe H wachsen linear, in der graphischen Auftragung (Abb.19) bilden sie eine Gerade, die mit dem Steigungsmaß 2 ansteigt. Das Verhältnis von Humeruslänge zur Gesamthöhe liegt konstant zwischen 4,4 und 4,9. Dabei besteht zwischen den einzelnen Humeri kein signifikanter Unterschied, die Werte unterscheiden sich um weniger als die einfache Standardabweichung voneinander. (Tab.5)
   Daraus folgt für die vermessenen Humeri:

   Die Gesamthöhe des Humeruskopfes entwickelt sich proportional zur Humeruslänge.

2. Die Werte zum Radius der Gelenkhalbkugel r wachsen linear, in der graphischen Auftragung liegen sie auf einer Geraden, die mit einem Steigungsmaß von 0,9 ansteigt . (Abb.20) Das Verhältnis der Humeruslänge zu R beträgt zwischen 10,2 und 10,75 (Tab.5), dabei besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Humeri, die Werte unterscheiden sich um weniger als die einfache Standardabweichung voneinander. Daraus folgt für die vermessenen Humeri:

   Der Radius der Gelenkhalbkugel r entwickelt sich proportional zur Humeruslänge.

Daraus folgt für die vermessenen Humeri:
Die Breite des Tuberculum majus nimmt proportional zur Humeruslänge zu.

5. Die Werte zum Abstand des Mittelpunktes zum Unterrand des Tuberculum majus MT sind zwar nicht sehr genau bestimmbar, aber durch die großen Abstände der einzelnen Humeri untereinander, die die Standardabweichung übertreffen, ist doch eine Aussage über die Tendenz ihrer Entwicklung möglich.
   Der Abstand MT nimmt erheblich schneller zu, als die übrigen Größen. (Abb.20) Diese Zunahme hängt natürlich mit dem Hochwandern des Unterrandes des Tuberculum majus direkt zusammen, stellt also keinen eigenen Befund dar.

6. Die Teilhöhen hT1 und hT2 sind ebenfalls nur ungenau bestimmbar, da sie so klein sind. In der Tendenz zeigt sich, daß sich das Verhältnis zwischen beiden Strecken umkehrt, bei kleinen Humeri ist hT1 größer, bei großen Humeri hT2.
   Die Tatsache, daß hT2 konstant steigt, hT1 dagegen abfällt, könnte durch eine Verschiebung des unteren Randes des Tuberculum majus erklärt werden. Dieses könnte entweder durch eine Verkleinerung des Tuberculum majus oder durch eine geringe Verschiebung der Gelenkhalbkugel nach vorne bewirkt werden.

Allerdings fällt hTl nur bei den größten Humeri ab, so daß bei der geringen Zahl der Objekte darüber keine sichere Aussage möglich ist.
Wie sehr sich die Proportionen verändern sieht man in **Abb.23**.

7. Der Abstand des Tuberculum minus zum Mittelpunkt Mt wächst dagegen linear, hier gibt es keine wesentlichen Veränderungen.

8. Interessant ist, daß der Sulcus intertubercularis genau auf dem Kreis liegt, dessen eine Hälfte die Gelenkhalbkugel bildet. Da der Ansatzpunkt der langen Sehne des Musculus biceps, das Tuberculum supraglenoidale, in situ fast genau über dem Mittelpunkt M des Kreises liegen dürfte, verändert sich die Länge der Sehnen bei Drehbewegungen des Humerus in der Längsachse nicht.

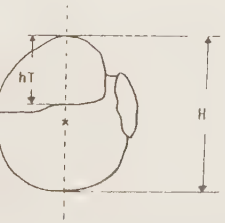
ANMERKUNG ZU DEN FOLGENDEN KURVEN

In den folgenden Kurven wurden die ermittelten Werte jeweils gegen die Humeruslänge als Bezugsgröße aufgetragen.
Zusätzlich zum ermittelten Mittelwert wurde jeweils auch die einfache Standardabweichung s eingetragen.

Bei Kurven , deren Werte nicht auf einer Gerade lagen, wurden die Mittelwerte zur Verdeutlichung des Verlaufs miteinander verbunden .

Die verwendeten Abkürzungen sind am Schluß der Arbeit erläutert.

Zur besseren Orientierung über die jeweils gezeichneten Größen wurde jeweils eine kleine Zeichnung des Humeruskopfes eingefügt.



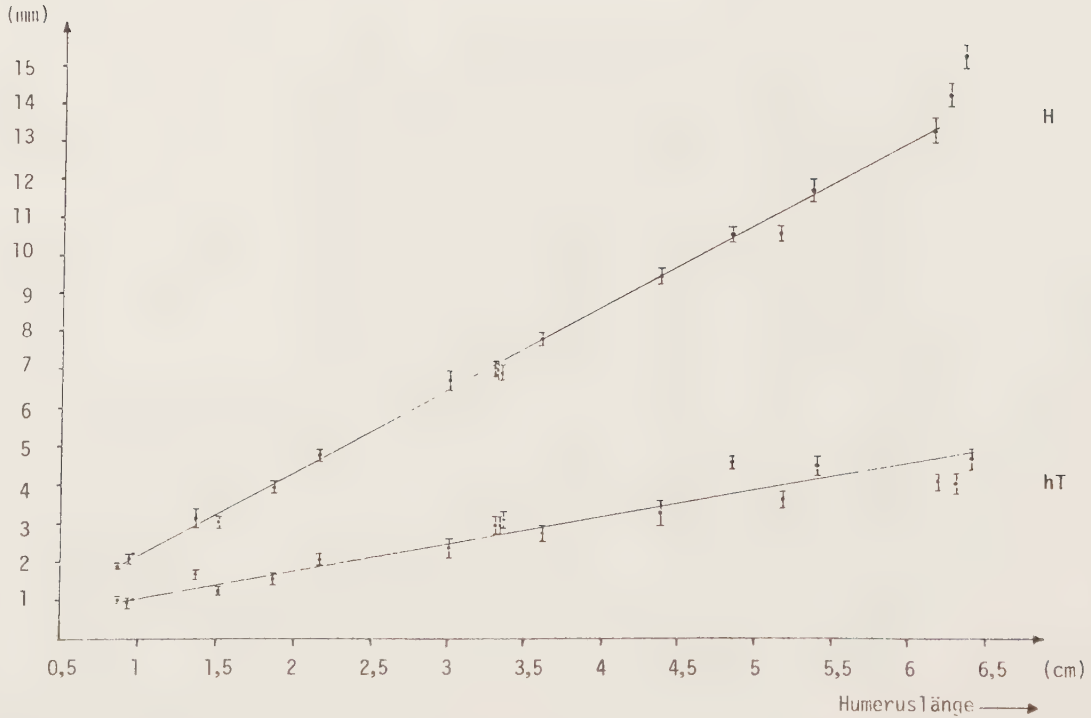


Abb. 19 H und hT gegen die Humeruslänge aufgetragen

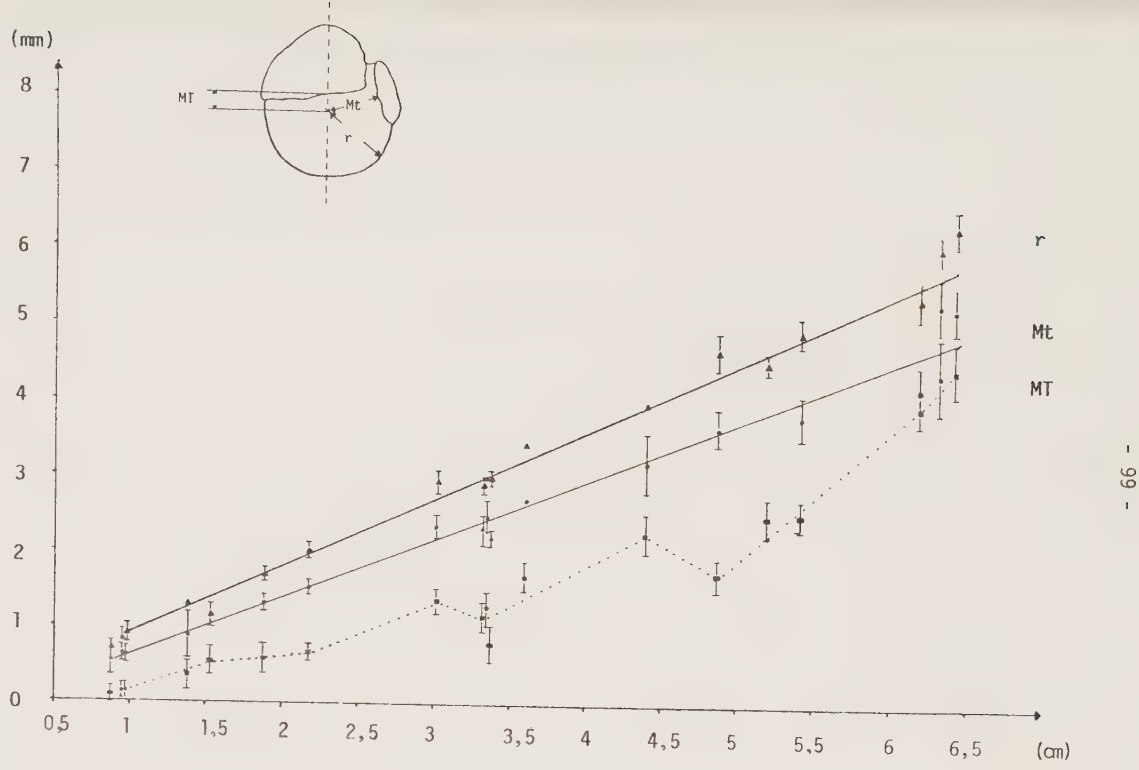


Abb. 20 r, Mt und MT gegen die Humeruslänge aufgetragen

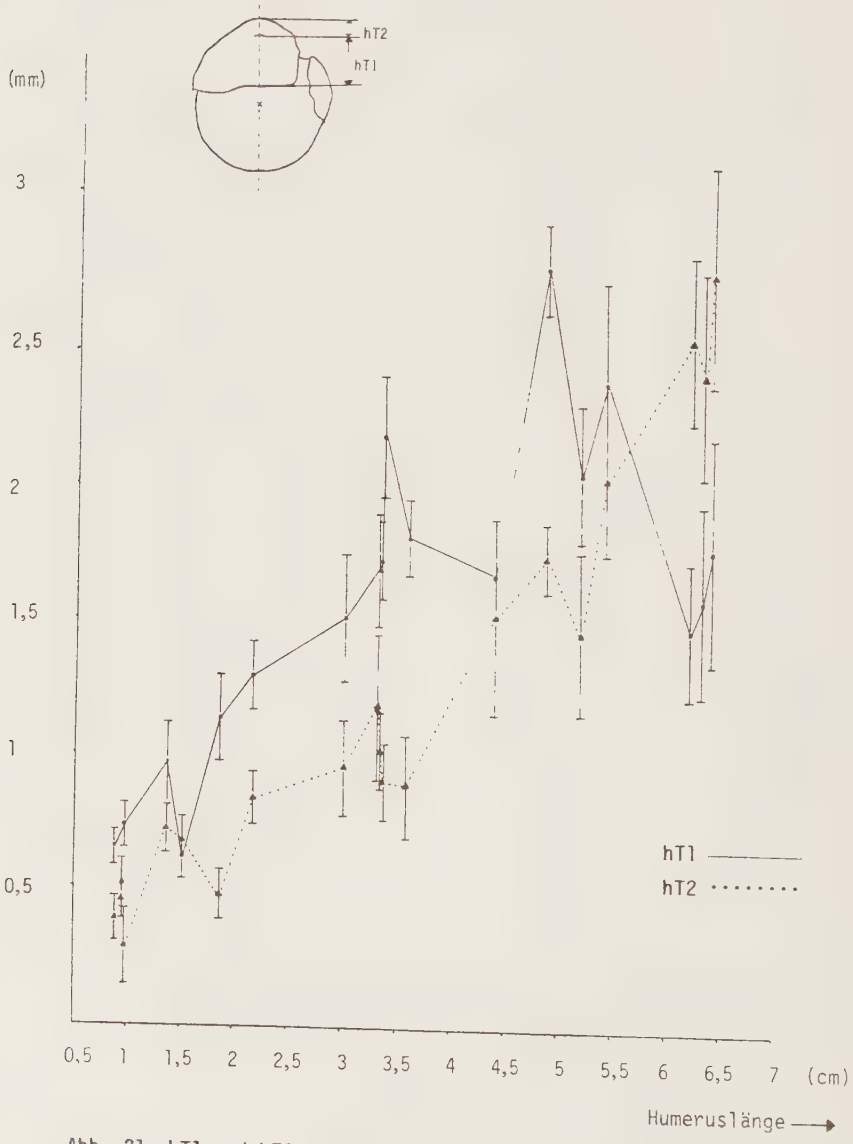


Abb. 21 hT1 und hT2 gegen die Humeruslänge aufgetragen

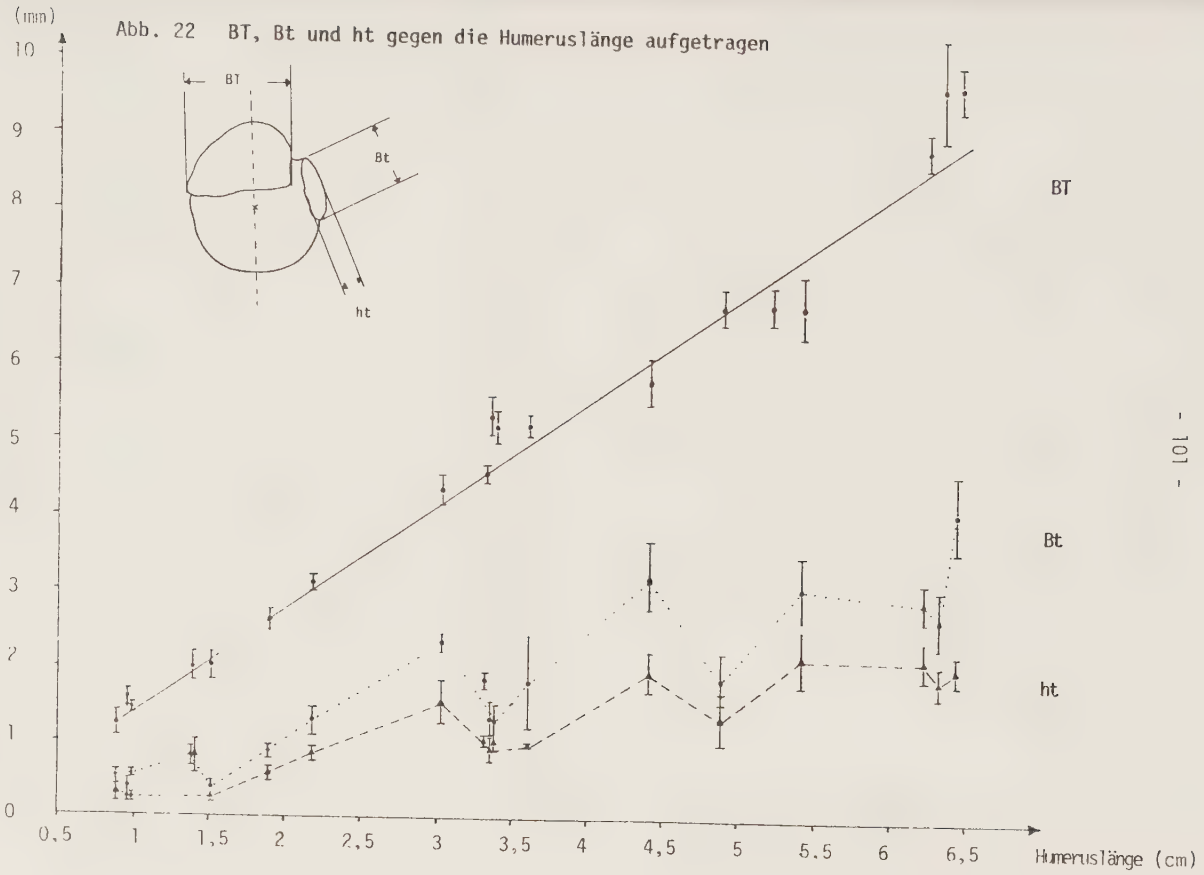


Abb. 22 BT, Bt und ht gegen die Humeruslänge aufgetragen

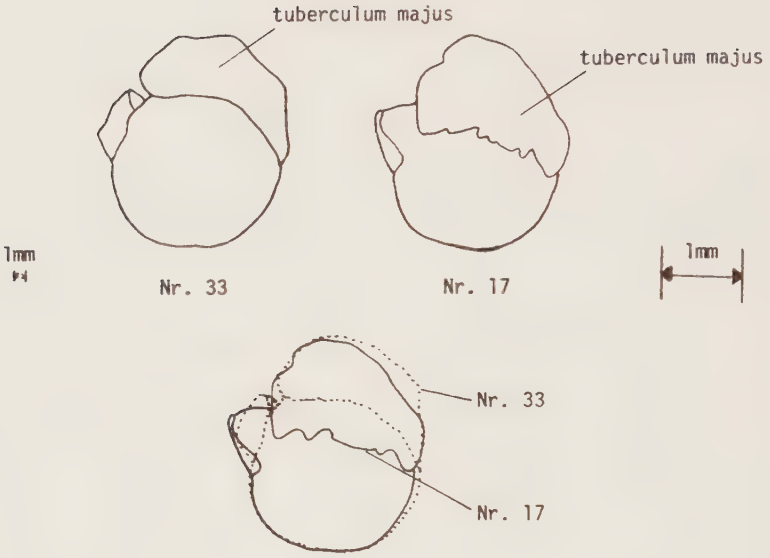


Abb. 23 Großer (Nr. 33) und kleiner (Nr. 17) Humeruskopf in gleicher Größe neben -und übereinander gezeichnet, zur Demonstration der Verkleinerung des tuberculum majus .

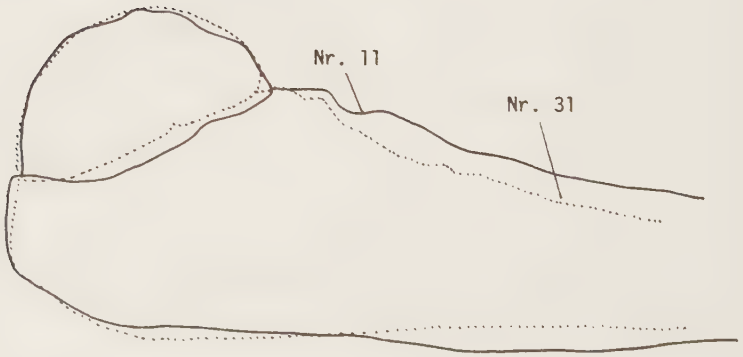


Abb. 23 Großer (Nr. 31) und kleiner (Nr. 11) Humerus in Seitenansicht in gleicher Größe übereinandergezeichnet. Man sieht, daß der Schaft des größeren Humerus im Vergleich zum Kopf schmaler ist.

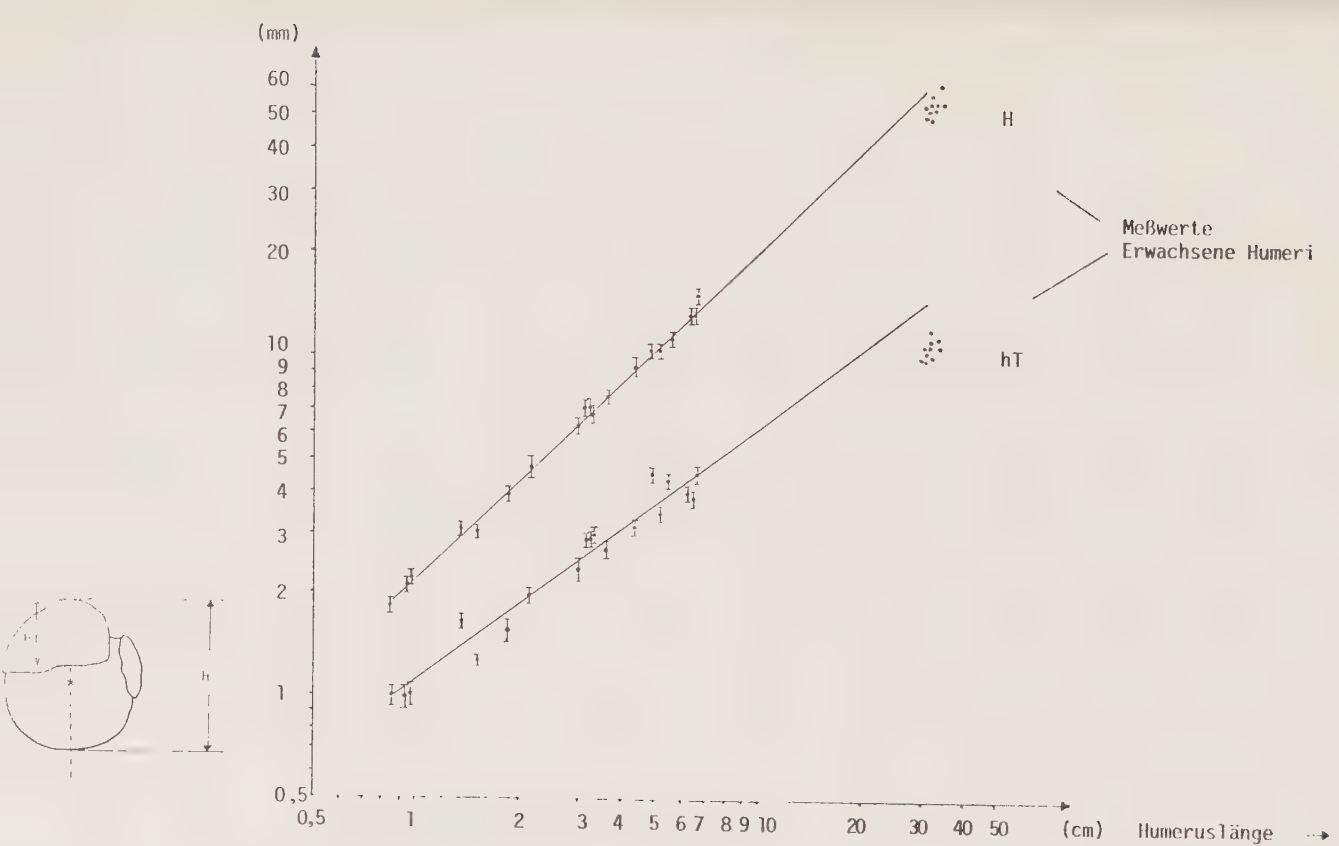


Abb. 24 H und hT von embryonalen und erwachsenen Humeri gegen die Humeruslänge aufgetragen. (doppelt log. !)

TABELLE Nr.5

VERHÄLTNISTABELLE EMBRYONALE HUMERI

(Die Zahlen auf der Abszisse bezeichnen die verschiedenen Humeri)

Verhältnis		23	22	21	19	17	11	13	2	10	3	1
	+s	47,78	25	24,5	35,13	23,59	25,27	26,91	19,48	25,34	23,69	32,52
L	$\bar{x}$	**86**	**30,56**	**35**	**52,69**	**27,45**	**31,69**	**31,59**	**21,73**	**27,9**	**26,08**	**40,85**
MT	-s	430	39,58	61,25	105,3	32,83	42,50	38,25	24,55	31,03	29,04	54,92
	+s	11,94	15,51	12,10	13,43	21,88	14,17	15,35	17,26	17,57	17,96	13,90
L	$\bar{x}$	**13,23**	**18,63**	**13,42**	**14,12**	**24,12**	**24,75**	**16,26**	**16,90**	**20,00**	**19,64**	**19,42**
hT1	-s	14,83	23,17	15,08	16,71	28,49	18,89	18,79	23,78	22,28	21,14	17,18
	+s	18,7	17,92	22,79	16,91	19,61	32,81	23,19	26,03	23,22	28,31	31,90
L	$\bar{x}$	**22,05**	**20,65**	**33,79**	**19,03**	**22,21**	**38,96**	**25,95**	**31,46**	**28,14**	**32,75**	**36,81**
hT2	-s	26,88	24,36	65,33	21,75	25,59	47,95	29,46	39,74	34,23	38,84	43,51
	+s	6,06	5,83	6,13	6,26	6,93	6,88	6,79	6,64	7,02	6,00	6,24
L	$\bar{x}$	**6,99**	**6,29**	**6,62**	**6,85**	**7,48**	**7,14**	**7,03**	**6,96**	**7,20**	**6,29**	**6,47**
BT	-s	8,27	6,83	7,21	7,57	8,12	7,42	7,29	7,31	7,39	6,61	6,71

TABELLE Nr.5 **VERHÄLTNISTABELLE EMBRYONALE HUMERI**

(Die Zahlen auf der Abszisse bezeichnen die verschiedenen Humeri)

Verhältnis		23	22	21	19	17	11	13	2	10	3	1
	+s	4,37	4,26	4,28	4,03	4,81	4,56	4,48	4,42	4,62	4,65	4,76
L	$\bar{x}$	**4,60**	**4,46**	**4,43**	**4,36**	**4,97**	**4,69**	**4,58**	**4,50**	**4,73**	**4,76**	**4,86**
H	-s	4,86	4,68	4,60	4,63	5,14	4,82	4,69	4,59	4,84	4,88	4,96
	+s	7,96	8,88	8,83	7,78	11,27	11	9,86	11,75	10,78	10,88	10,18
L	$\bar{x}$	**8,51**	**9,60**	**9,61**	**8,15**	**11,80**	**11,76**	**10,43**	**12,74**	**11,37**	**11,48**	**10,84**
hT	-s	9,56	10,44	10,54	8,56	12,38	12,64	11,07	13,92	12,03	12,15	11,59
	+s						10,00	9,01	10,41	9,60	9,65	9,31
L	$\bar{x}$						**10,63**	**9,48**	**11,48**	**10,38**	**10,44**	**9,85**
hT+10%	-s						11,33	10,00	12,48	10,92	10,99	10,47
	+s	10,75	10,67	10,0	10,54	11,80	10,75	10,28	9,9	11,25	11,13	10,95
L	$\bar{x}$	**11,62**	**11,31**	**10,77**	**10,54**	**12,69**	**10,87**	**10,79**	**10,20**	**11,53**	**11,13**	**11,20**
R	-s	12,65	12,03	11,67	10,54	13,73	11,0	11,35	10,52	11,81	11,13	11,47

TABELLE Nr.5 VERHÄLTNISTABELLE EMBRYONALE HUMERI

(Die Zahlen auf der Abszisse bezeichnen die verschiedenen Humeri)

Verhältnis		7	9	6	28	31	32	34	33
	+s	20,06	18,03	25,36	19,12	20,41	15,41	13,02	13,60
L	$\bar{x}$	**21,49**	**19,47**	**28,15**	**20,88**	**21,63**	**16,88**	**14,54**	**14,52**
MT	-s	23,14	21,15	31,62	23,01	23,01	16,64	16,47	15,58
	+s	18,61	23,4	16,34	22,61	19,75	36,49	32,85	29,45
L	$\bar{x}$	**20,06**	**26,5**	**17,33**	**25,49**	**22,82**	**42,45**	**40,13**	**36,48**
hT1	-s	21,75	30,55	18,45	29,38	27,29	53,33	51,54	47,91
	+s	33,12	23,40	24,6	29,71	23,51	21,82	22,64	20,32
L	$\bar{x}$	**40,11**	**28,94**	**27,99**	**35,62**	**26,75**	**24,47**	**26,2**	**23,09**
hT2	-s	50,85	37,9	30,06	44,44	31,21	27,86	31,08	26,75
	+s	6,74	7,21	6,99	7,41	7,58	6,93	6,16	6,48
L	$\bar{x}$	**6,94**	**7,60**	**7,18**	**7,66**	**8,03**	**7,09**	**6,59**	**6,67**
BT	-s	7,16	8,03	7,39	7,93	8,67	7,26	7,08	6,87

TABELLE Nr.5 VERHÄLTNISTABELLE EMBRYONALE HUMERI

(Die Zahlen auf der Abszisse bezeichnen die verschiedenen Humeri)

Verhältnis		7	9	6	28	31	32	34	33
	+s	4,55	4,6	4,59	4,86	4,54	4,59	4,31	4,14
L	$\bar{x}$	**4,63**	**4,7**	**4,64**	**4,95**	**4,65**	**4,70**	**4,46**	**4,22**
H	-s	4,71	4,79	4,69	5,05	4,76	4,81	4,56	4,31
	+s	12,80	12,79	10,43	13,83	11,75	15,07	15,46	13,18
L	$\bar{x}$	**13,37**	**13,71**	**10,68**	**14,69**	**12,29**	**15,56**	**15,93**	**13,90**
hT	-s	13,99	14,77	10,94	15,2	12,87	16,08	16,42	14,69
	+s	11,57	11,49	9,53	12,94	10,86	13,77	14,03	12,23
L	$\bar{x}$	**12,03**	**12,46**	**9,74**	**13,33**	**11,08**	**14,18**	**14,41**	**12,84**
hT+10%	-s	12,53	13,06	9,96	13,76	11,80	14,61	14,81	13,52
	+s	10,26	10,81	9,92	11,35	10,73	11,24	10,24	9,89
L	$\bar{x}$	**10,34**	**11,02**	**10,41**	**11,50**	**11,06**	**11,71**	**10,51**	**10,21**
R	-s	10,43	11,25	10,94	11,66	11,41	12,21	10,80	10,54

7. GESAMTDISKUSSION

In dieser Arbeit wurde erstmals die Vermeßbarkeit kleiner embryonaler Humeri untersucht. Ebenso wurden erstmals Meßwerte zur Entwicklung des Oberarmkopfes vorgelegt.
Es ergaben sich folgende Schlußfolgerungen:

Die hier vorgeschlagene Meßmethode liefert statistisch gut verwertbare Meßergebnisse für Embryonen, deren Scheitel - Steiß - Länge größer als 40 mm ist. Die Humeruslänge dieser Embryonen beträgt ca. 8,6mm. Kleinere Humeri sind mit der angegebenen Methode höchstens noch mit größerem technischen Aufwand vermeßbar, z. B. einem Balgengerät. Allerdings nimmt die Empfindlichkeit der zu untersuchenden Humeri wohl weiter zu, schon bei den hier untersuchten Größen war erhebliche präparatorische und meßtechnische Sorgfalt nötig, um die Humeri vor Deformierungen zu bewahren.
Die Vermessung von Modellen, die nach histologischen Schnittserien angefertigt werden, wurde unterlassen, da die Objekte durch die histologische Aufbereitung und die Projektion nur sehr ungenau vermeßbar sind.
Aus den erhobenen Meßwerten lassen sich recht gut Aussagen über die Entwicklung des Humeruskopfes ableiten.
Diese Aussagen sind zu einer Orientierung verwendbar, sie stellen keine Normwerte dar, für die Erstellung von Normwerten wäre eine erheblich größere Anzahl von Embryonen in jeder Größe notwendig.

Außerdem sollte die Vermessung eines einzelnen embryonalen Humerus für eine statistisch gesicherte Aussage öfter, das heißt ca. 30 mal, erfolgen. Darauf wurde in dieser Arbeit verzichtet, da sich die Alternative stellte zwischen einer guten orientierenden Vermessung möglichst vieler und verschieden großer Humeri oder der häufigen Vermessung weniger Humeri.
Einzelne der hier erwähnten Humeri wurden zuerst zehnmal vermessen.
Es stellte sich heraus, daß mit der vorgeschlagenen Meßmethode schon bei zehnmaliger Vermessung befriedigende Ergebnisse zu erzielen waren, d.h. die Standardabweichung lag bei wichtigen Orientierungsgrößen meist unter 5%. Deshalb wurden auch die restlichen Humeri je zehnmal vermessen.
Es ist noch zu betonen, daß die Vermessung zwar sorgfältig durchgeführt wurde, es wurde aber auch großer Wert darauf gelegt, daß die Meßkriterien und Orientierungspunkte so gut definiert sind, daß sie relativ schnell und ohne übertriebene Akribie ermittelt werden können. Dadurch sollten systematische Meßfehler, die sich durch unbemerkt auftretende Orientierungsmerkmale für den geübten Untersucher ergeben, möglichst ausgeschlossen werden. Die Methode wird dadurch auch für andere Untersucher besser nachprüfbar.

Aus den Meßwerten ergeben sich folgende Aussagen:

1. In dem vermessenen Bereich von 8,6 - 64,2 mm Humeruslänge (40 - 242 mm SSL) nehmen die wichtigen Größen Gesamthöhe des Humeruskopfes, Radius der Gelenkhalbkugel und Breite des Tuberculum majus recht exakt linear zu. Dies bedeutet, daß ihr Verhältnis zueinander gewahrt bleibt.
   Somit wächst der Humeruskopf in diesem Größenbereich linear, seine Proportionen ändern sich nicht.

2. Im Vergleich zur Gelenkhalbkugel und zur Mittelachse ändert sich die Lage der Tubercula nicht so erheblich, daß dies meßbar wäre.

3. Der an die Gelenkhalbkugel grenzende Unterrand des Tuberculum majus verschiebt sich etwas nach oben. Das Tuberculum majus wird also insgesamt relativ niedriger. Der Gesamteffekt dieser relativen Verkleinerung wird recht deutlich, wenn ein großer und ein kleiner Humerus übereinander projeziert werden. (Abb.23) Offensichtlich verändert sich auch nur der untere Rand des Tuberculum majus. Dies wird durch die verschieden starke Zunahme der Teilhöhen des Tuberculum majus hT1 und hT2 gezeigt. (Abb.24) Die Teilhöhe hT1 nimmt bei den größeren Humeri ab, die Teilhöhe hT2 wächst weiter proportional.

Dies kann allerdings nur eine Tendenz andeuten, die Bestimmung dieser kleinen Größen ist nicht sehr genau und die Zahl von drei Objekten ist zu gering für sichere Aussagen.
Für die Funktion des Schultergelenkes würde dies einen größeren Bewegungsradius des Humerus bedeuten.
Die genaue Ursache hierfür konnte nicht bestimmt werden. Zu diskutieren sind folgende Ursachen:

1. Beim Präparieren wird der Unterrand des Tuberculum majus bei den größeren Humeri besser dargestellt.
   Dies ist aber unwahrscheinlich, da immer so präpariert wurde, daß der Rand der Gelenkkugel frei zu sehen war.
2. Das Tuberculum majus verschmälert sich beim Wachstum.
   Auch dies erscheint unwahrscheinlich, denn dann wäre zu erwarten, daß der Unterrand einen proportional gleichen Abstand zum Mittelpunkt behält, während die Gesamthöhe (die ja bis zum Oberrand des Tuberculum majus gemessen wird) langsamer zunimmt.
3. Das Tuberculum majus könnte etwas langsamer wachsen und zusätzlich etwas nach oben auf der Gelenkkugel verschoben werden.
   Dies würde erklären, warum der Abstand zum Mittelpunkt Mt schneller als die übrigen Strukturen zunimmt, während die Gesamthöhe proportional wächst.

4. Möglich wäre auch eine Verschiebung der Gelenkhalbkugel nach vorne oder eine Vergrößerung ihres Winkels zum Humerusschaft. Dann würde der Oberrand der Gelenkhalbkugel in der Vorderansicht nach oben wandern und das Tuberculum majus würde verschmälert, wobei nur der Unterrand hoch wandert.
   Es war allerdings nicht möglich in der Seitenansicht eine Verschiebung oder Winkelvergrößerung festzustellen, da die Meßmethode die dafür erforderlichen kleinen Veränderungen nicht erfaßt.
5. Möglich wäre auch eine Kombination dieser Veränderungen.

4. Die Proportionen des embryonalen Humerus entsprechen fast denen des Erwachsenen - Humerus, zumindest, wenn man die Gesamthöhe des Humeruskopfes mit der Humeruslänge vergleicht. Dann beträgt das Verhältnis bei embryonalen Humeri ungefähr 4,7 (**Tab.5**) bei den Erwachsenen - Humeri ca. 5,5 - 6 (**Tab.7**). Da die Erwachsenen - Humeri aber in mazeriertem Zustand vermessen wurden und somit der Gelenkknorpel und die Sehnenansätze nicht berücksichtigt sind, kann man sicher zur Gesamthöhe noch mindestens 0,5 cm dazurechnen. Dann ergibt sich ein Wert von ca. 5 - 5,5. Dies dürfte bei der geringen Zahl der vermessenen Erwachsen-Humeri und den zwischen ihnen bestehenden Schwankungen kein signifikanter Unterschied sein. (**Abb.24**)

5. Während der Humeruskopf also schon seine proportional richtige Größe früh erreicht, ist der Schaft des Humerus noch nicht so weit ausgeformt, er ist noch erheblich dicker als der des Erwachsenen, wenn man ihn mit der Humeruslänge vergleicht.
   Beim Erwachsenen beträgt dieses Verhältnis etwa 17 - 18, beim embryonalen Humerus entwickelt es sich erst, bei den kleinen Humeri ist die Länge ca. zehnmal so groß wie die Breite, bei den größten hier vermessenen Humeri beträgt das Verhältnis ca. 16, es nähert sich also erheblich den Erwachsenen Verhältnissen an. (Man muß natürlich bei diesen Verhältniszahlen berücksichtigen, daß sie nicht so genau sind wie einzelne Meßwerte, da hier die Meßfehler der beiden verglichenen Größen eingehen.) (Tab.5)
   Dieses Ergebnis bestätigt die schon von LEWIS (1901) erwähnte Tatsache, daß der Schaft noch breiter im Verhältnis zur Länge ist.

6. Die Breite des distalen Endes der embryonalen Humeri wurde auch noch mit der Schublehre vermessen, obwohl dies nicht zum eigentlichen Thema der Arbeit gehört.
   Sie steigt streng proportional zur Humeruslänge, das Verhältnis beträgt fast konstant ca. 4,3.
   Auch die Epicondylen sind beim Erwachsenen etwas schmaler, das Verhältnis zur Humeruslänge beträgt ca. 5 - 6.
   (Dies wurde allerdings nur an wenigen Erwachsenen - Humeri später noch gemessen.)

Das Verhältnis zwischen Tuberculum majus und Humeruslänge beträgt bei den Erwachsenen - Humeri 26 - 30, bei den embryonalen Humeri nimmt das Verhältnis von 9,6 bei den kleinen Humeri auf 15,5 bei den größeren Humeri zu. Rechnet man wieder 0,5 cm dazu, so beträgt das Verhältnis bei den Erwachsenen - Humeri ca. 20. Dies könnte bedeuten, daß das Tuberculum majus weiterhin noch etwas kleiner wird, wie es sich auch schon bei den hier vermessenen Humeri andeutete.

Die Aussage von LEWIS (1901) und OLIVIER (1962), daß die Form der embryonalen Humeri der Erwachsenenform ähnelt, kann also bestätigt werden, die vermessenen embryonalen Humeri haben in Bezug auf die Verhältnisse zwischen Humeruslänge und Gesamthöhe des Humeruskopfes schon fast genau die Erwachsenenform.
Dies ist auch sinnvoll, da diese Proportionen für die Funktion des Schultergelenkes wichtig sind.

TABELLE Nr.6 , Seite 1

Objekt Nr.	23	22	21	19	17	11	13	2	10	3
Humeruslänge L (mm)	8,6	9,5	9,8	13,7	15,1	18,7	21,8	30,2	33,2	33,4
Schaftbreite SB (mm)	1,2	0,99	1	1,1	1	1,3	1,6	2,3	2,6	2,6
Epicondylenbreite EB (mm)	1,9	2,2	2,5	3		3,8	4,8	7	7,2	7,6
$\frac{L}{SB}$	7,17	9,6	9,8	12,45	15,1	14,38	13,68	13,13	12,77	12,85
$\frac{L}{EB}$	4,56	4,32	3,92	4,57		4,92	4,54	4,31	4,61	4,39

TABELLE Nr.6 , Seite 2

Objekt Nr.	1	7	9	6	28	31	32	34	33
Humeruslänge L (mm)	33,5	36,1	44	48,7	52	54,3	62,4	63,4	64,2
Schaftweite SB (mm)	2,2	2,5	3	4	3,2	3,3	4,1	4	4,5
Epicondylenbreite EB (mm)	7,8	8,8	10	11,7	12	12,8	14,3	16,4	15,2
$\frac{L}{SB}$	15,23	14,44	14,67	12,8	16,25	16,45	15,22	15,85	14,27
$\frac{L}{EB}$	4,29	4,1	4,4	4,16	4,33	4,24	4,36	3,87	4,22

TABELLE Nr.7

VERHÄLTNISTABELLE ERWACHSENEN - HUMERI

(Zahlen 1 - 10 bezeichnen die verschiedenen Humeri)

Verhältnis		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L (cm)		34,6	33,7	32	31	31,7	31,0	31,4	33,9	33,5	30,6
	+s	5,19	5,34	5,63	5,95	5,15	5,78	5,66	6,04	5,28	5,27
L	$\bar{x}$	5,26	5,41	5,70	6,03	5,22	5,83	5,72	6,15	5,35	5,52
H	-s	5,33	5,49	5,77	6,11	5,29	5,87	5,78	6,27	5,41	
	+s	32,34	28,31	28,55	30,10	24,96	28,44	27,54	30,82	27,92	25,29
L	$\bar{x}$	33,59	29,35	30,08	31,63	26,86	29,81	28,81	31,68	28,63	26,38
hT	-s	34,95	30,47	31,79	33,33	29,08	31,31	30,19	32,60	29,39	27,57

TABELLE Nr.8 Meßwerte embryonaler Humeri (bei denen die Sehnenansätze möglichst völlig entfernt wurden)

Humerus Nr.	H (mm)	hT (mm)	BT (mm)	MT (mm)	hT1 (mm)	hT2 (mm)	ht (mm)	Bt (mm)	Mt (mm)	r (mm)
1	6,6	2,5	4,3	1,2	1,9	0,6	1,1	1,6	2,0	2,9
	6,7	2,7	4,35	1,0	2,0	0,7	1,2	1,4	2,0	2,95
	7,0	2,8	4,2	1,3	1,8	1,0	1,2	1,5	2,3	3,05
2	6,6	2,2	4,4	1,5	1,6	0,6				3,0
10	7,3	2,8	4,4	1,5	1,6	1,2	1,0	0,9	2,4	3,0
	7,3	2,7	4,4	1,5	1,55	1,2	1,0	0,8	2,4	3,0
3	7,4	3	5,1	1,5	1,5	1,5	1,0	0,7	2,5	2,9
9	9,5	3,6	5,3	1,95	2,05	1,5	1,7	2,0	2,6	4,0

8. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurden die Formveränderungen am Humeruskopf des Menschen während früher Wachstumsphasen untersucht.
Es sollte festgestellt werden, inwieweit sich der embryonale Humeruskopf von demjenigen des erwachsenen Menschen unterscheidet.
Weiterhin sollten Meßwerte erhoben werden um die Proportionen des menschlichen Humeruskopfes mit denen anderer Arten vergleichen zu können.
Zu diesem Zweck wurde eine photographische Meßmethode entwickelt, die die Vermessung der kleinen und weichen Humeri ermöglicht , ohne sie zu deformieren.
Die Humeri wurden dabei auf einem Brett photographiert und das zehnfach vergrößerte Negativ wurde auf Transparentpapier abgezeichnet und vermessen.
Mit dieser Methode können Strecken die größer als 1 Millimeter sind gut vermessen werden . (Standardabweichung unter 5 % .)

Es standen 19 menschliche Embryonen und Foeten zur Verfügung , ihre Scheitel - Steiß - Länge betrug 40 bis 262 mm.
Ihr Alter betrug 65 - 202 Tage.
Zur Erprobung der Methode und zum Vergleich mit den embryonalen Humeri wurden außerdem 10 Humeri von erwachsenen Menschen vermessen. Jeder Humerus wurde zehnmal völlig neu vermessen.

Es wurden folgende Aussagen gemacht :

1. Die Gesamthöhe des Humeruskopfes , die Breite des Tuberculum majus und der Radius der Gelenkhalbkugel wachsen proportional zur Humeruslänge , sie verändern sich also nicht.

2. Die Höhe des Tuberculum majus nimmt langsamer zu als die Humeruslänge und die unter 1. erwähnten Strukturen, das Tuberculum majus wird also relativ niedriger .
(Verschiedene Ursachen dafür wurden diskutiert , es war aber nicht möglich eine einzelne Ursache festzustellen.)

3. Die Proportionen des embryonalen Humerus ähneln schon weitgehend denen des Humerus des Erwachsenen.
Der Schaft ist allerdings im Verhältniss zur Länge noch breiter, und das Tuberculum majus ist noch relativ höher.
Bei den größten hier vermessenen embryonalen Humeri nähern sich diese Verhältnisse aber auch schon an die des Humerus des Erwachsenen an .

4. Die Gelenkkugel und die Tubercula verändern ihre Form und ihre Lage zueinander nicht so wesentlich, daß dies meßbar wäre.

9. LITERATURVERZEICHNIS

BARDEEN, R.C. and LEWIS, W.H.
Development of the limbs, body - wall and back in man
Am. J. Anat. Vol.I, pp. 1 - 35, (1901)

BARDEEN, R.C.
Studies of the development of the human skeleton
Am. J. Anat. Vol.4, pp. 265 - 302, (1905)

BLECHSCHMIDT, E.
Die frühembryonale Strukturentwicklung der Gliedmaßen
Z. Anat. Entw. Gesch., Bd. 115, Seite 617 - 657, (1951)

BLECHSCHMIDT, E.
Der menschliche Embryo
(Atlas) Schattauer Verlag Stuttgart, (1962)

BLECHSCHMIDT, E.
Extremitätenentwicklung
Erg. Chir. Orthop., Springer Berlin, (1967)

BUGNION, E.
L'Articulation d'epaule chez les animaux et chez l'homme
C. Rend. Assoc. Anat. Lyon, (1901)

DOLGO - SABUROFF, B.
Über einige Eigentümlichkeiten der Knochenstruktur an der Anheftungsstelle der Sehnen
Morph. Jahrb. Bd.75, Seite 393 - 411, (1935)

ENLOW, D.H.

Principles of bone remodeling
Charles C. Thomas, Springfield Illinois, (1963)

FICK, R.

Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke
in: v. Bardeleben, Handbuch d. Anat. d. Menschen, 2.Band,
1. Abteilung, 1. und 2. Teil, (1904)

GARDNER, E. and GRAY, D.J.

The prenatal development of the human shoulder
and acromioclavicular joints.
Am. J. Anat. Vol.92, pp. 219 - 276, (1953)

GRAY, D.J. and GARDNER, E.

The prenatal development of the human humerus
Am. J. Anat. Vol. 124 (4), pp. 431 - 445, Illus. (1969)

HAGEN, W.

Die Bildung des Knorpelskeletts beim menschlichen
Embryo.
Arch. Anat. Physiol. (Anath. Abt.), Seite 1 - 40, (1900)

HENKE, W. und REYHER, C.

Studien über die Entwicklung der Extremitäten
des Menschen, insbesondere der Gelenkflächen.
Sitzungsb. d. k. Akad. d. Wiss. Wien, Math.-Natw. Klasse
3. Abth. LXX. Band, Seite 217 - 273 (1874)

HESSER, C.

Beitrag zur Kenntnis der Gelenkentwicklung des Menschen
Morphol. Jahrbuch Bd.55, Seite 489 - 567, (1920)

HOCHSTETTER, F.

Über die Entwicklung der Form der menschlichen Gliedmaßen
Denkschr. Österr. Akad. d. Wiss., Natw. Klasse, Bd.109, (1952)

KRAHL, V.E.

An Apparatus for measuring the torsion angle in long bones
Science, Vol.99, p. 498, (1944(I))

KRAHL, V.E. and EVANS, F.G.

The torsion of the humerus: A phylogenetic survey from fish to man
Am. J. Anat., Vol.76 (3), pp. 303 - 337, (1945)

KRAHL, V.E. and EVANS, F.G.

Humeral torsion in man
Am. J. Phys. Anthropol. Vol.3, pp. 229, (1945)

LEWIS, W.H.

The developing of the arm in man
Am. J. Anat. Vol.1, pp. 145 - 183, (1902)

LEWIS, W.H.

The development of the muscular system
Handbuch der Entwicklungsgeschichte des Menschen,ed. Keibel, Mall
Bd.1, (1910)

OLIVIER, G., PINEAU, H.

Determination de l'Age du Foetus et de l'Embryon
Arch. Anat. Path., Bd. 6, Seite 21 - 28, (1958)

OLIVIER, G.

Formation du Squelette des membres chez l'Homme
Vigot Freres, Editeurs, Paris, (1962)

SIMON, S.

Beiträge zur Entwicklung des Schultergelenkes
beim Menschen
Sitzungsb. d. Akad. d. Wiss., Math.-Natw. Klasse, Wien, Abt. III,
Bd. 130/131, (Jahrgang 21/22, Heft 1 - 10), Seite 61 - 95, (1923)

STREETER, G.

Development horizons in human embryos
Contr. to Embryol. 33 (220), pp. 149 - 167, Publication no. 583
Carnegie Institution of Washington, (1949)

10. VERZEICHNISS DER VERWENDETEN ABKÜRZUNGEN

(Alphabetisch geordnet)

a = Winkel zwischen der Mittelachse und dem am Sulcus intertubercularis liegenden Rand des Tuberculum majus

aO = Abstand vom untersten Punkt der Gelenkhalbkugel bis zum Pol

a1 = Abstand vom Pol bis zum Unterrand des Tuberculum majus

a12 = Abstand vom Pol bis zum Oberrand des Tuberculum majus

b = Winkel zwischen der Mittelachse und dem am Sulcus intertubercularis liegenden Rand des Tuberculum minus

$\bar{b}$ = Breite der Gelenkkugel auf der Höhe des Pols

BT = Breite des Tuberculum majus

Bt = Breite des Tuberculum minus

g1 = Winkel zwischen der Mittelachse und dem äußeren Rand des Tuberculum majus

g2 = Winkel zwischen der Mittelachse und dem äußeren Rand des Tuberculum minus

H = Gesamthöhe des Humeruskopfes

hT = Höhe des Tuberculum majus

ht = Höhe des Tuberculum minus

hT1 = Strecke vom Unterrand des Tuberculum majus bis zu dem Kreis, dessen eine Hälfte die Gelenkhalbkugel bildet

hT2 = Strecke vom oben erwähnten Kreis bis zum Oberrand des Tuberculum majus

M = Mittelpunkt der Gelenkhalbkugel
MT = Strecke vom Mittelpunkt der Gelenkkugel zum Unterrand des Tuberculum majus
Mt = Strecke vom Mittelpunkt zum Unterrand des Tuberculum minus
r = Radius der Gelenkhalbkugel
s = Standardabweichung
$\bar{x}$ = Mittelwert

DANKSAGUNG

Ich danke Herrn Prof. Dr. M. Klima herzlich für die Überlassung des Themas und die sehr geduldige und hilfsbereite Betreuung.
Ebenso danke ich Herrn Priv.-Doz. Dr. H. A. Oelschläger sehr für seine stets freundliche Hilfe bei auftauchenden Fragen.

Weiterhin bedanke ich mich bei meinen Freunden, die mir durch ihre kritischen Anmerkungen geholfen haben.

EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre ehrenwörtlich, daß ich die dem Fachbereich Humanmedizin der Johann Wolfgang Goethe - Universität in Frankfurt am Main zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel:

QUANTITATIVE UNTERSUCHUNGEN ZUR FORMENTWICKLUNG DES HUMERUSKOPFES BEIM EMBRYO DES MENSCHEN

im Zentrum der Morphologie der Johann Wolfgang Goethe - Universität in Frankfurt am Main unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. M. Klima ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe.

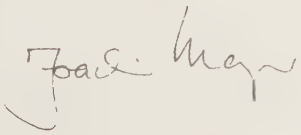
Ich habe bisher an keiner in - und ausländischen medizinischen Fakultät bzw. Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht, noch die vorliegende Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Frankfurt am Main, den 10.12.84

Joachim Mayr

LEBENSLAUF

30.6.1957	geboren in Bingen/Rhein, als Sohn des Diplom - Ingenieurs Hellmut Mayer und der Erzieherin Johanna Mayer, geb. Maus
1960	Übersiedlung der Familie nach Griechenland
1963	Einschulung an der Grundschule der Deutschen Schule in Athen
1967	Wechsel nach Deutschland, Besuch des Gymnasiums in Bingen/Rhein (Stephan George-Gymnasium)
1968	Wechsel nach Griechenland, Besuch des Dörpfeld Gymnasiums in Athen
1969	Wechsel nach Deutschland, Besuch des Stephan George-Gymnasiums, Bingen/Rhein
1969	Umzug nach Frankfurt/Main, Besuch des Johann Wolfgang Goethe-Gymnasiums in Frankfurt/Main
24.5.1976	Reifeprüfung am Johann Wolfgang Goethe-Gymnasium erfolgreich abgelegt
1.6.1976	Einberufung zur Bundeswehr
1.10.1976	Beginn des Medizinstudiums an der Johann Wolfgang Goethe Universität in Frankfurt/Main
25.8.1978	Ärztliche Vorprüfung bestanden
30.8.1979	1. Teil des Staatsexamens bestanden
19.3.1982	2. Teil des Staatsexamens bestanden
17.10.1983	3. Teil des Staatsexamens bestanden
15.11.1983	Erteilung der Ärztlichen Approbation
	Seit März 1984 arbeite ich als Assistenzarzt am Pathologischen Institut des St. Markus Krankenhauses in Frankfurt/Main.



Druck und Verarbeitung: copy shop, darmstadt, tel. 21353